



TUGAS AKHIR TF-141581

**ANALISIS *PRESSURE DROP*
PADA PIPA JARINGAN PELANGGAN BIOGAS
DI TPA SUPITURANG KOTA MALANG**

GIGIS KINTAN MIYARTHALUNA
NRP. 2411 100 036

Dosen Pembimbing
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR TF-141581

**ANALISIS *PRESSURE DROP*
PADA PIPA JARINGAN PELANGGAN BIOGAS
DI TPA SUPITURANG KOTA MALANG**

GIGIS KINTAN MIYARTHALUNA
NRP. 2411 100 036

Dosen Pembimbing
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT TF-141581

**AN ANALYSIS OF PRESSURE DROP
AT PIPE NETWORK OF BIOGAS USER
IN TPA SUPITURANG MALANG CITY**

GIGIS KINTAN MIYARTHALUNA
NRP. 2411 100 036

Supervisor
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Gigis Kintan Miyarthaluna
NRP : 2411100036
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknik Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **“Analisis Pressure Drop pada Pipa Jaringan Pelanggan Biogas di TPA Supiturang Kota Malang”** adalah hasil karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 25 Juli 2017
Yang membuat pernyataan,



Gigis Kintan Miyarthaluna
NRP. 2411100036

**ANALISIS *PRESSURE DROP*
PADA JARINGAN PIPA PELANGGAN BIOGAS
DI TPA SUPITURANG KOTA MALANG**

TUGAS AKHIR

Oleh :
GIGIS KINTAN MIYARTHALUNA
NRP : 2411 100 036

Surabaya, 24 Juli 2017
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I ,



Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
NIPN. 19761223 200501 21001

**Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS**



Agus Muhammad Hatta, ST, MSi, Ph.D
NIPN. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan.

ANALISIS *PRESSURE DROP*
PADA JARINGAN PIPA PELANGGAN BIOGAS
DI TPA SUPITURANG KOTA MALANG

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Energi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :




GIGIS KINTAN MIYARTHALUNA
NRP. 2411 100 036

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

2. Ir. Roekmono MT

3. Ir. Harsono Hadi, MT PhD

 (Pembimbing I)
 (Penguji I)
 (Penguji II)

SURABAYA
JULI 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan.

ANALISIS PRESSURE DROP PADA PIPA JARINGAN PELANGGAN BIOGAS DI TPA SUPITURANG KOTA MALANG

Nama Mahasiswa : Gigis Kintan Miyarthaluna
NRP : 2411 100 036
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

Abstrak

Pressure drop merupakan salah satu permasalahan yang dihadapi oleh jaringan pipa pelanggan biogas di TPA Supiturang. Penambahan 80 pelanggan baru akan meningkatkan pressure drop sehingga tekanan biogas menuju kompor menurun. Sedangkan, tekanan optimun biogas dan landfill gas menuju kompor sebesar 1,0 kPa. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan pressure drop jaringan pipa pelanggan biogas existing dan future. Jaringan pipa future pada branch XA, XB, dan XC terdapat delapan variasi model, yaitu antara lain model A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, dan B4. Hasil perhitungan jaringan pipa existing menunjukkan error hasil perhitungan kurang dari 3%. Tekanan biogas menuju ke kompor telah memenuhi minimum pressure. Hasil perhitungan jaringan pipa future pada branch XB dan XC menunjukkan bahwa tekanan tertinggi dihasilkan model A1. Pada branch XA, tekanan tertinggi dihasilkan model A2. Hal ini terjadi karena friction loss lebih kecil pada branch XB dan XC dengan model A1. Sedangkan pada branch XA, model A2 memiliki debit terkecil. Maka model A1 digunakan sebagai desain pada jaringan pipa future.

Kata kunci: Biogas, headloss, pipa, pressure drop.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

AN ANALYSIS OF PRESSURE DROP AT PIPELINE NETWORK OF BIOGAS USER IN TPA SUPITURANG MALANG CITY

Name : Gigis Kintan Miyarthaluna
NRP : 2411 100 036
Departement : Engineering Physics FTI-ITS
Supervisor : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

Abstract

Pressure drop is one of the problems that occurred in pipeline network of biogas user. If we add 80 biogas users, it will increase the pressure drop and decrease biogas pressure to the stove. Optimum pressure of biogas and landfill gas to the stove are 1,0 kPa. In this experiment, the pressure drop at pipeline network of biogas users had been calculated both existing and future. There was 8 variation of models for the future pipeline on branch XA, XB, and XC. Such as model A1, B1, A2, B2, A3, B3, A4, and B4. The calculation error of existing pipeline is less than 3 %. The calculation result of the future pipeline on branch XA, XB, and XC had shown that the lowest pressure drop was from model A1. On branch XC, the lowest pressure drop was from model A2. On branch XB and XC, the cause was model A1 had lowest friction loss. On the other hand, on branch XA. Model A2 had the lowest volume rate. So model A1 had been chosen as the future pipeline design.

Keywords: *Biogas, headloss. pipe, pressure drop.*

Halaman ini sengaja dikosongkan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis Pressure Drop pada Pipa Jaringan Pelanggan Biogas di TPA Supiturang Kota Malang”.

Terselesainya tugas akhir ini tidak lepas dari berbagai pihak yang telah membantu, maka pada kesempatan kali ini ijin penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D selaku kepala departemen Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Dr. Ridho Hantoro, ST, MT. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan bimbingan, Ilmu, arahan serta motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak/Ibu dosen bidang minat Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan, Dr. Gunawan Nugroho, ST, MT, Ir. Roekmono MT., dan Ir. Harsono Hadi, MT PhD, yang telah memberikan kritik dan saran terkait tugas akhir penulis.
4. Bapak Ir. Jerri Susatio, MT selaku dosen wali yang telah banyak memberikan motivasi.
5. Orang tua penulis, adik dan segenap keluarga yang senantiasa memberikan motivasi, dukungan, do'a dan menjadi penghibur saat jenuh.
6. Bapak dan ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu selama masa perkuliahan.
7. Keluarga besar angkatan 2011 Teknik Fisika dan teman-teman lainnya yang senantiasa mengingatkan dan menyemangati penulis untuk menyelesaikan tugas akhir.
8. Pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidaklah sempurna dengan adanya beberapa kekurangan. Oleh karena itu, sangat penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sehingga mencapai sesuatu yang lebih baik lagi. Penulis juga berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat, khususnya bagi penulis dan umumnya bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Depan	i
Lembar Pengesahan.....	vii
Abstrak	xi
Abstract	xiii
kata pengantar	xv
Daftar Isi.....	xvii
Daftar Gambar.....	xxi
Daftar Tabel.....	xxiii
Daftar Notasi	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
1.6 Sistematika Tugas Akhir	4
BAB II LANDASAN TEORI	7
2.1 TPA Supiturang	7
2.2 <i>Landfill</i>	10
2.3 <i>Gas Collector</i>	12
2.4 <i>Landfill Gas</i> (LFG).....	13
2.5 <i>Pretreatment LFG</i>	17
2.6 <i>Head Loss</i>	18
2.6.1 <i>Major Losses</i> (h_l).....	19
2.6.2 <i>Minor Losses</i> (h_{lm}).....	21
2.7 <i>Mutiple Flow</i>	23
2.7.1 Pipa yang Dipasang Seri	23
2.7.2 Pipa yang Dipasang Paralel.....	24
2.7 Average Pipe Segment Pressure (P_{avg})	25
2.8 Spesifikasi Pipa dan <i>Fitting</i>	25
2.9 Pengukuran Tekanan dengan Manometer	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Studi Literatur.....	30
3.2 Pengambilan Data.....	30

3.2.1	Persiapan Alat dan Bahan.....	30
3.2.2	Pengukuran dan Pembuatan Desain Jaringan Pipa <i>Existing</i>	30
3.2.3	Pengukuran Debit Biogas	30
3.2.4	Pengukuran Tekanan dan Temperatur di Titik Sampel	31
3.3	Perhitungan <i>Properties</i> LFG.....	31
3.4	Perhitungan Pessure Drop.....	32
3.5	Penentuan Desain Jaringan Pipa Pelanggan Biogas <i>Future</i>	35
3.6	Analisa Data dan Pembahasan Hasil Penelitian	38
3.7	Penarikan Kesimpulan	39
3.8	Penyusunan Laporan.....	39
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		41
4.1	Pengambilan Data.....	41
4.1.1	Desain Jaringan Pipa <i>Existing</i>	41
4.1.2	Hasil Pengukuran Debit.....	44
4.1.3	Hasil Pengukuran Tekanan.....	45
4.2	Hasil Perhitungan <i>Properties</i> LFG	46
4.3	Hasil Perhitungan Tekanan Awal pada Jaringan Pipa <i>Existing</i>	47
4.4	Hasil Perhitungan <i>Pressure Drop</i> pada Jaringan Pipa <i>Existing</i>	47
4.5	Hasil Perhitungan <i>Pressure Drop</i> di <i>Branch</i> XA	48
4.6	Hasil Perhitungan <i>Pressure Drop</i> di <i>Branch</i> XB.....	48
4.7	Hasil Perhitungan <i>Pressure Drop</i> di <i>Branch</i> XC.....	49
4.8	Faktor yang Mempengaruhi <i>Pressure Drop</i> di <i>Branch</i> XA, XB, dan XC.....	50
4.9	Pembahasan	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		57
5.1	Kesimpulan.....	57
5.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA.....		59
LAMPIRAN A		
LAMPIRAN B		
LAMPIRAN C		

LAMPIRAN D
LAMPIRAN E
LAMPIRAN F
LAMPIRAN G
LAMPIRAN H
LAMPIRAN I
LAMPIRAN J
LAMPIRAN K
LAMPIRAN L
LAMPIRAN M

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Komposisi MSW.	7
Gambar 2.2	Diagram Sistem Instalasi Gas Metana.	8
Gambar 2.3	TPA Supiturang.	8
Gambar 2.4	Instalasi Pemisah Air dan Gas.	9
Gambar 2.5	Metering Gas dan (b) Instalasi Metering Gas.	9
Gambar 2.6	Sambungan Rumah (SR) Pelanggan Biogas.	10
Gambar 2.7	Pelanggan Biogas TPA Supiturang.	10
Gambar 2.8	<i>Vertical Extraction Well</i> dan (b) <i>Horizontal Extraction Well</i> .	13
Gambar 2.9	Moody Diagram.	21
Gambar 2.10	<i>Loss Coefficient</i> pada <i>Gradual Diffuser</i> .	23
Gambar 2.11	<i>Loss Coefficient</i> pada <i>Pipe Bend 90°</i> .	23
Gambar 2.12	(a) Tee, (b) Elbow, dan (c) Reducing Socket.	26
Gambar 2.13	Manometer Pipa U.	28
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.	29
Gambar 3.2	Konfigurasi Pemasangan Manometer.	31
Gambar 3.3	Diagram Alir Perhitungan	33
Gambar 3.4	Variasi Posisi 1 yaitu (a) Model A1 dan (b) Model B1.	35
Gambar 3.5	Variasi Posisi 2 yaitu (a) Model A1 dan (b) Model B2.	36
Gambar 3.6	Variasi Posisi 3 yaitu (a) Model A3 dan (b) Model B3.	37
Gambar 3.7	Variasi Posisi 2 yaitu (a) Model A4 dan (b) Model B4.	38
Gambar 4.1	Jaringan Pipa Pelanggan Biogas dengan (a) RK1 dan (b) RK2.	42
Gambar 4.2	Jaringan Pipa Pelanggan Biogas dengan R3.	43
Gambar 4.3	Hasil Pengukuran Debit LFG dalam m ³ /h.	44

Gambar 4.4	Hasil Pengukuran Tekanan Absolut pada (a) Hari Pertama dan (b) Hari Kedua dalam kPa.	45
Gambar 4.5	Perbandingan 8 Variasi Model pada <i>Branch</i> XA.	48
Gambar 4.6	Perbandingan Model A2 dan B2 pada <i>Branch</i> XA.	48
Gambar 4.7	Perbandingan 8 Variasi Model pada <i>Branch</i> XB	49
Gambar 4.8	Perbandingan Model A1 dan A2 pada <i>Branch</i> XB	49
Gambar 4.9	Perbandingan 8 Variasi Model pada <i>Branch</i> XC.	50
Gambar 4.10	Perbandingan Model A1 dan B1 pada <i>Branch</i> XC	50
Gambar 4.11	Hubungan Antara Debit dengan Tekanan (a) di XA; (b) di XB; dan (c) di XC dengan 8 Variasi Model.	51
Gambar 4.12	Perbandingan Antara Panjang Pipa dengan Tekanan di (a) XA; dan (b) XB dengan 8 Variasi Model.	52
Gambar 4.13	Perbandingan ΣK di XA dan XB dengan 8 Variasi Model..	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi dari Gas Alam, Biogas dan <i>Landfill Gas</i> .	14
Tabel 2.2	<i>Properties</i> dari CH ₄ dan CO ₂ pada 1 atm dan 20°C.	16
Tabel 2.3	Persamaan <i>Gas Mixture</i> .	16
Tabel 2.4	Nilai <i>roughness</i> (ϵ) pada berbagai komersial <i>duct</i> .	20
Tabel 2.5	<i>Loss Coefficient</i> pada <i>Valve</i> dan <i>Fitting</i> .	22
Tabel 2.6	<i>Loss Coefficient</i> pada <i>Gradual Contraction</i> .	22
Tabel 2.7	Spesifikasi PVC Tipe AW Wavin.	25
Tabel 2.8	Spesifikasi Pipa Wavin AW.	26
Tabel 2.9	Spesifikasi Tee Wavin Tipe AW dalam mm.	26
Tabel 2.10	Spesifikasi Elbow Wavin Tipe AW dalam mm.	27
Tabel 2.11	Spesifikasi Reducting Socket Wavin dalam mm.	27
Tabel 3.1	Nilai ϵ/D pada Pipa	34
Tabel 3.2	Koefisien K untuk Fitting	34
Tabel 3.3	Koefisien K untuk Reducting Socket dan Diffuser Socket	34
Tabel 4.1	Hasil Perhitungan <i>Properties LFG</i> .	47
Tabel 4.2	Perbandingan Hasil Pengukuran dan Perhitungan	47

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR NOTASI

A	<i>Cross sectional</i> pipa (m^2)
A	Jumlah fraksi mol CO_2 dan H_2S
B	Fraksi mol H_2S
D	Diameter dalam pipa (m)
G	<i>Spesific gravity</i> gas
f	<i>Darcy friction factor</i>
g	Kecepatan gravitasi (m^2/s)
h_l	<i>Majorheadloss</i> (m)
h_{lm}	<i>Minorheadloss</i> (m)
h_{IT}	<i>Total headloss</i> (m)
K	<i>Coeficient loss</i>
L	Panjang pipa (m)
Le	Panjang equivalent (m)
M	<i>Molecular weight</i>
n	<i>Power law exponent</i>
P	Tekanan (Pascal)
P_c	<i>Critical pressure</i> (MPa)
P_c'	<i>Pseudoretical critical pressure</i> (MPa)
Pr	<i>Pressure ratio</i>
Q	<i>Volume rategas</i> (m^3/s)
R	Konstanta gas universal
Re	Bilangan Reynold
T	Temperatur gas (Kelvin)
T_c	<i>Critical temperatur</i> (Kelvin)
T_c'	<i>Pseudoretical critical temperatur</i> (Kelvin)
T_f	Temperatur rata-rata dalam pipa (Kelvin)
V	Kecepatan gas dalam pipa (m/s)
\bar{V}	Kecepatan gas rata-rata dalam pipa (m/s)
y	<i>Mole fraction</i>
Z	Elevasi (m)

Greek symbol

ε	<i>Roughness</i>
ρ	Densitas gas (kg/m^3)

μ	Viskositas gas (N.s/m ²)
Φ	Temperatur gas (Kelvin)
ΔP	Pressure drop (Pascal)
ΣK	Jumlah koefisien <i>loss</i>

Superscript

0 *Standard condition*

Subscript

0 Referensi

1,2 *Apparent*

air Udara

avg *Average*

g *Gas*

m *Gasmixture*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Malang merupakan kota dengan populasi 894.653 penduduk dan menghasilkan *Municipal Solid Waste*(MSW) sebesar 660 ton per hari dengan laju peningkatan MSW mencapai 10% dari total MSW. Permasalahan MSW merupakan permasalahan yang serius.Sistem pengelolaan MSW yang masih *open dump* berpotensi bahaya.Dekomposisi MSW menghasilkan biogas yang mengandung karbondioksida dan metana. Gas metana yang tidak dikontrol dan terkonsentrasi akan menyebabkan ledakan seperti yang terjadi di TPA Leuwigajah [1]. Padahal gas metana yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai energi terbarukan yaitu sebagai bahan bakar pengganti LPG.Pada tahun 2009, kebutuhan LPG di sektor rumah tangga kira-kira 7,44% dari total energi yang dimiliki Indonesia [2]. Upaya penurunan konsumsi LPG di sektor rumah tangga dapat dilakukan dengan memanfaatkan gas metana yang dihasilkan di *landfill*.

Pemerintah Kota Malang telah mencanangkan beberapa program untuk mengatasi permasalahan ini.Salah satunya yaitu penerapan sistem *control landfill* di TPA Supiturang. Penerapan sistem *control landfill* ini sesuai dengan penerapan Undang-Undang Pengelolaan Sampah No. 18 Tahun 2008 yang menyatakan bahwa penimbunan sampah di Tempat Pemrosesan Akhir Sampah dilakukan secara terkendali dengan sistem *control landfill / sanitary landfill* [3].*Landfill gas* (LFG) yang dihasilkan kemudian disalurkan ke masyarakat sebagai energi alternatif.

TPA Supiturang berlokasi di Kelurahan Mulyorejo, Kota Malang. Luas kawasan mencapai 31 hektar dan volume sampah 420,48 ton/hari dengan sistem *control landfill*. Komposisi MSW yaitu 70,5 % organik dan 29,5 % anorganik. Septiropa dkk (2011) meneliti sudut ujung pipa penangkapan optimal gas metana di TPA Supiturang.Kedalaman dan sudut optimal dari pipa ekstraksi vertikal dihitung. Penelitian ini mendapatkan bahwa kedalaman

maksimal yang dapat dijangkau yaitu 520 cm dan sudut 30° dianggap paling optimal [4].

Pada tahun 2012, berdasarkan hasil perhitungan GIZV-NAMAs potensi gas metana mencapai 4.521 ton/tahun. Pada tahun 2013, Sambungan Rumah (SR) mencapai 300. Namun, potensi gas metana masih belum optimal. Pada tahun 2014, Rahajeng dkk menemukan bahwa pemanfaatan gas metana hanya 0,013% dari potensi gas yang ada. Peningkatan perlu dilakukan sehingga potensi gas metana dapat dioptimalkan [5]. Pada tahun 2014, jumlah sumur penangkapan gas sebanyak enam puluh titik, panjang jaringan induk pipa gas 2.700 m, dan sambungan rumah 408 SR. Jaringan dan penyaluran gas metana terdiri dari instalasi pengambilan gas metana, instalasi pemisah gas dan air, instalasi pengendalian gas, dan instalasi pelepasan gas *flaring*. Instalasi-instalasi tersebut dihubungkan dengan jaringan pipa (DKP Kota Malang, 2014). Namun pada tahun 2015, terjadi penurunan pelanggan biogas sehingga hanya 196 pelanggan saja. Penurunan ini terjadi karena pelanggan tidak dapat menggunakan biogas dari jaringan pipa pelanggan biogas.

Permasalahan yang dihadapi instalasi gas metana yaitu *pressure drop*. *Pressure drop* mempengaruhi tekanan yang diterima kompor. Semakin besar *pressure drop* maka semakin kecil tekanan yang diterima kompor. Penelitian Grima-Olmedo dkk (2014) menunjukkan bahwa tekanan optimal LFG untuk menghasilkan *energetic performance* terbesar yaitu 10 mbar [6].

Jaringan pipa pelanggan biogas melalui banyak *fitting* sehingga *pressure drop* yang dihasilkan menjadi besar [7]. Penambahan konsumen baru akan meningkatkan *pressure drop*. Hasil dari perhitungan akan menunjukkan apakah jaringan pipa pelanggan biogas *existing* dan *future* memiliki *pressure drop* besar. *Pressure drop* diatasi dengan pembuatan desain jaringan pipa yang baru. Desain jaringan pipa yang baru akan dihitung sehingga didapatkan *pressure drop* terkecil.

Penelitian sebelumnya tentang *pressure drop* pada pipa jaringan pelanggan biogas belum dilakukan. Namun, ada beberapa penelitian tentang *pressure drop*. Penelitian Sugiarto

(2011) menunjukkan *pressure drop* pada pipa distribusi gas dengan variasi diameter pipa. Hasil simulasi menunjukkan *pressure drop* dan tekanan MR/S terkecil pada diameter 110 mm yaitu sebesar 2 mbar dan 57 mbarg. Penelitian Widya Rahma Iswara dan Ari Susandy Sanjaya (2015) menunjukkan pengaruh *pressure drop* terhadap efektivitas *heat exchanger*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *pressure drop* tidak melebihi standard[8]. Penelitian-penelitian tersebut memberikan gambaran mengenai *pressure drop*. Maka perlu dilakukan analisa *pressure drop* pada jaringan pipa pelanggan biogas di TPA Supiturang.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa *pressure drop* pada jaringan pipa pelanggan biogas di TPA Supiturang Kota Malang?
2. Bagaimana hasil perhitungan *pressure drop* untuk pengembangan jaringan pipa pelanggan biogas?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pelaksanaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Biogas dianggap fluida satu fasa, *incrompressible*, dan tidak ada perpindahan panas.
2. Data berupa Desain jaringan pipa *existing* dan spesifikasi pipa didapatkan dengan metode observasi langsung.
3. Pengukuran *pressure* dilakukan dengan menggunakan manometer ujung tertutup pada tiga titik sampel yaitu RK1, RK2, dan RK3. Manometer yang digunakan satu setiap sampelnya dan dipasang menggunakan pipa dan fitting dengan ukuran 1/2".
4. Perhitungan *pressure drop* pada jaringan pipa pelanggan dilakukan dengan persamaan Darcy.
5. Tekanan di titik awal tidak diketahui sehingga dilakukan pendekatan dari hasil perhitungan persamaan Darcy.

1.4 Tujuan

Tujuan dilakukannya tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui besar *pressure drop* pada jaringan pipa pelanggan biogas di TPASupiturang Kota Malang.
2. Mengetahui hasil perhitungan *pressure drop* untuk pengembangan jaringan pipa pelanggan biogas.

1.5 Manfaat

Manfaat dilakukannya tugas akhir ini adalah DKP Kota Malang dapat menjadikan acuan mengenai *pressure drop* pada jaringan pipa pelanggan biogas di TPA Supiturang Kota Malang.

1.6 Sistematika Tugas Akhir

Laporan tugas akhir ini tersusun dari lima bab dengan rincian sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bagian ini dijelaskan mengenai latar belakang dilakukannya tugas akhir, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan serta sistematika penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab II dijelaskan beberapa teori singkat yang mendasari tugas akhir ini. Beberapa teori singkat yang dijelaskan pada bab ini adalah sebagai berikut: MSW, *sanitary landfill*, *landfill gas* (LFG), dan aliran di dalam pipa.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini dijelaskan mengenai tahapan-tahapan pelaksanaan tugas akhir secara jelas. Bab III juga menyajikan tahapan perhitungan *pressure drop* pada aliran gas di dalam pipa.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada awal bab IV disajikan data hasil pengukuran debit biogas dan tekanan di tiga titik sampel. Selanjutnya dilakukan perhitungan *pressure drop* pada jaringan pipa *existing* dan *future*. Data hasil perhitungan ditampilkkan dalam bentuk *mass balance*. Selanjutnya dilakukan analisa data hasil perhitungan.

BAB V PENUTUP

Bab V merupakan bagian akhir dari bab utama dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Bab V berisikan kesimpulan yang menjawab tujuan tugas akhir serta saran yang diberikan oleh peneliti. Dengan adanya saran ini, diharapkan penelitian selanjutnya dapat lebih baik dan mampu memberikan dampak yang besar terhadap perkembangan teknologi.

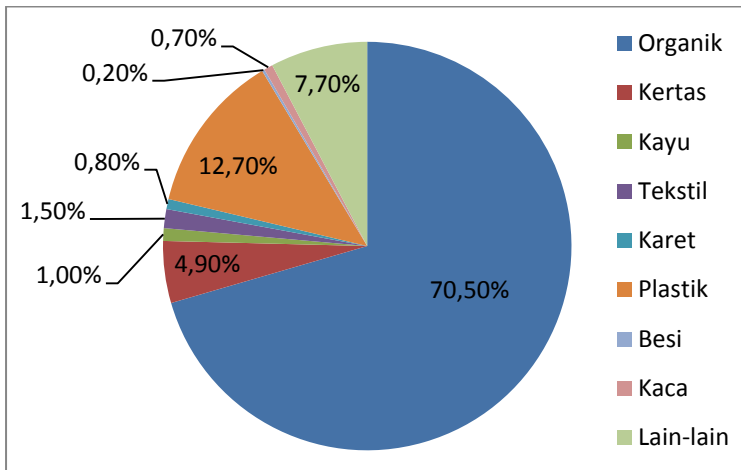
Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 TPA Supiturang

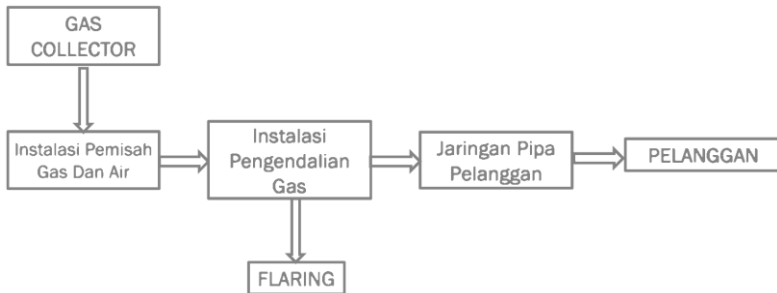
TPA Supiturang berlokasi di Kelurahan Mulyorejo, Kota Malang. Luas kawasan mencapai 31 hektar dan volume sampah 420,48 ton/hari dengan sistem *control landfill*. *Landfill* ditimbun dengan tanah secara periodik setiap dua hari sekali. Komposisi MSW yaitu 70,5 % organik dan 29,5 % anorganik [9] yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Komposisi MSW.
Sumber: DKP Kota Malang(2014)[9]

Berdasarkan hasil perhitungan GIZ V-NAMAS pada tahun 2012, potensi gas metana mencapai 4.521 ton/tahun. Instalasi gas metana kemudian dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif pengganti LPG bagi penduduk sekitar TPA Supiturang. Pelanggan biogas mengeluarkan biaya sekitar Rp.45.000,-/bulan untuk kebutuhan rumah tangga dan Rp. 105.000,- untuk usaha kuliner sehingga masyarakat dapat meminimalkan pengeluaran.

Pada tahun 2013, panjang jaringan induk pipa gas 2.700 m dan sambungan rumah 300 SR (Sambungan Rumah). Pada tahun 2014, sambungan rumah mencapai 408 SR. Jaringan dan penyaluran gas metana terdiri dari instalasi pengambilan gas metana, instalasi pemisah gas dan air, instalasi pengendalian gas, dan instalasi pelepasan gas *flaring* yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Instalasi-instalasi tersebut dihubungkan dengan jaringan pipa[9].



Gambar 2.2 Diagram Sistem Instalasi Gas Metana.
Sumber: DKP Kota Malang (2014)[9]

TPA Supiturang menggunakan *active gas collector* dimana *blower* digunakan untuk menarik LFG ke *extraction well*. Jumlah sumur penangkapan gas sebanyak enam puluh titik dengan menggunakan *vertical estraction well*. *Leacheate* dialirkan ke kolam penampungan yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 TPA Supiturang.

Biogas akan melewati instalasi pemisah gas dan air, yang ditunjukkan pada Gambar 2.4, sehingga terjadi penurunan konsentrasi air dalam biogas. Kemudian biogas menuju ke instalasi pengendalian gas. Instalasi pengendalian gas ini terdiri dari blower, meteran gas, dan valve yang mengatur aliran biogas. Blower yang digunakan sebanyak dua buah. Meteran gas yang digunakan adalah merk Ningbo China dengan akurasi 0,0001 yang ditunjukkan pada Gambar 2.5a dan Gambar 2.5b.



Gambar 2.4 Instalasi Pemisah Air dan Gas.



(a)



(b)

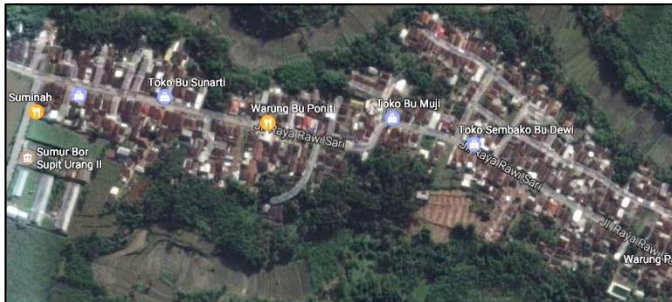
Gambar 2.5 Metering Gas dan (b) Instalasi Metering Gas.

Aliran biogas dapat dikontrol dengan valve sehingga dapat dialirkan ke jaringan pipa pelanggan atau flaring. Instalasi

sambungan rumah ditunjukkan pada Gambar 2.6. Sambungan Rumah warga memakai pipa PVC dan fitting dengan nominal $\frac{1}{2}$ " serta ball valve. Pelanggan biogas mencakup tiga RT, yaitu RT 07; RT 05; dan RT 04 yang ditunjukkan Gambar 2.7.



Gambar 2.6 Sambungan Rumah (SR) Pelanggan Biogas.



Gambar 2.7 Pelanggan Biogas TPA Supiturang.
Sumber: Google Map

2.2 Landfill

Municipal Solid Waste (MSW) merupakan limbah yang berasal dari rumah tangga, komersial, dan lembaga yang dihasilkan di suatu daerah. MSW landfill merupakan tempat penerimaan MSW dan limbah padat lainnya [10]. Berikut beberapa tipe pengelolaan *landfill* yaitu:

a. *Open Dump*

Open dump merupakan teknik pembuangan sampah tidak terkontrol dimana sampah dibiarkan kontak langsung dengan lingkungan. Metode ini menimbulkan banyak potensi pencemaran lingkungan seperti perkembangan vektor penyakit seperti lalat dan tikus, pencemaran udara oleh emisi gas yang dihasilkan, pencemaran air akibat *leachate* yang dihasilkan, serta estetika yang buruk. Jenis ini yang paling banyak ditemui di Indonesia.

b. *Control Landfill*

Control landfill merupakan teknik penimbunan sampah secara periodik ditutup dengan lapisan tanah sehingga tidak kontak langsung dengan lingkungan. Sampah diratakan dan dipadatkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan lahan dan stabilitas permukaan tanah. Fasilitas yang tersedia meliputi saluran drainase untuk pengendalian air hujan; saluran pengumpul *leachate* dan kolam penampungan; pos pengendalian operasional; dan alat berat.

c. *Sanitary Landfill*

Sanitary landfill merupakan teknik penimbunan sampah yang dilakukan setiap hari sehingga potensi bahaya dapat diminimalisir. Fasilitas yang tersedia meliputi *leachate drainage*, *gas monitoring probe*, *ground monitoring well*, dan lain-lain.

Leachate drainage berfungsi membuang *leachate* yang dihasilkan dari *mouisture* yang terbentuk di *landfill* dan dari air hujan. *Leachate* akan mencemari air bawah tanah maupun permukaan sehingga perlu dilakukan pengelolaan *leachate*. Pengelolaan *leachate* dengan membran merupakan solusi terbaik. Membran mampu mendapatkan purifikasi penuh dan mampu mengatasi polusi air. Selain itu, mikroorganisme pembantu proses dekomposisi tidak terbuang. Namun, ada permasalahan baru berupa residu. Residu tidak dapat dimanfaatkan. Ada beberapa pengelolaan residu seperti mencampur residu dengan *fly ash* dan *controlled reinjection*.

Selain itu, *leachate* dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik dengan menggunakan *microbial fuel cell*[11].

Sanitary landfill memiliki keuntungan yaitu memerlukan modal awal yang kecil; penambahan volume dapat ditambahkan dengan sedikit penambahan peralatan dan operator; pemanfaatan gas sebagai sumber bahan bakar dan pembangkit listrik; serta lahan dapat digunakan lagi bagi masyarakat. Namun, *sanitary landfill* memerlukan perawatan, perencanaan, desain, dan operasi yang tepat [12].

Sanitary landfill dapat dibedakan menjadi dua berdasarkan teknik peletakan sampah, yaitu metode *trench* dan metode *area*.

Metode *trench* yaitu pengupasan berbentuk parit-parit tempat penimbunan sampah. *Area* yang digunakan digali dan dilapisi dengan bahan yang biasanya terbuat dari membran sintesis, tanah liat dengan permeabilitas yang rendah, atau kombinasi keduanya. Metode ini digunakan untuk daerah dengan muka air yang dalam.

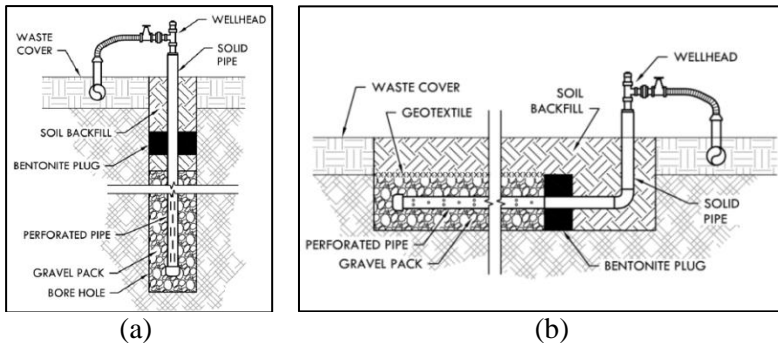
Metode *area* yaitu sampah dibuang menyebar memanjang pada permukaan tanah, dan tiap lapis dalam proses pengisian, lapisan dipadatkan dan ditutup dengan material penutup setebal 15-30 cm. Metode ini digunakan untuk daerah yang datar dengan muka air tanah tinggi[13].

2.3 Gas Collector

Gas metana dari *landfill* dimanfaatkan dengan menggunakan *gas collector*. Ada dua tipe *gas collector* yaitu *active gas collector* dan *passive gas collector*. *Active gas collector* menggunakan *blower* atau *compressor* untuk menarik LFG menuju *extraction well*. Sedangkan *passive gas collector* hanya memanfaatkan tekanan alami LFG. *LFG gas collector* terdiri dari *extraction well*, *condensate collection*, *blower*, dan *flare*.

Extraction well memiliki dua jenis, yaitu *vertical extraction well* dan *horizontal extraction well* yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Desain yang umum digunakan yaitu *vertical extraction well*. Keuntungan *vertical extraction well* yaitu tidak mengganggu

existing site, reliable dan mudah untuk inspeksi dan pemompaan. Namun, tipe ini membutuhkan banyak operasi dan *maintenance* [14].



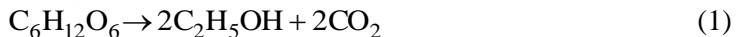
Gambar 2.8 Vertical Extraction Well dan (b) Horizontal Extraction Well.

Sumber: US EPA (2014)[14]

2.4 Landfill Gas (LFG)

LFG merupakan gas yang dihasilkan pada proses dekomposisi pada bahan organik yang terdapat di MSW landfill.[15]. Bahan organik yang berada didekat permukaan akan mengalami reaksi oksidasi secara *aerob*. Namun, prinsip bioreaksi di landfill adalah dekomposisi secara *anerob* yang memiliki tiga tahapan. Tahap pertama yaitu bakteri fermentasi *hydrolyze* bahan organik kompleks menjadi molekul yang *soluble*. Tahap kedua yaitu molekul ini dirubah menjadi *acetid acid*, *propionic acid*, *carbon dioxide*, dan *hydrogen*. Tahapan ketiga yaitu metana dibentuk oleh bakteri *methanogenic*. Hal ini dilakukan dengan cara memecah asam menjadi mtana dan karbon dioksida atau mereduksi karbondioksida dengan hidrogen. Reaksi-reaksi di atas dapat direpresentasikan yang ditunjukkan sebagai berikut[15].

Acetogenesis



Metanogenesis

Gas metana mulai terbentuk pada saat proses *methanogenic*. Proses dekomposisi untuk menghasilkan LFG dipengaruhi oleh sifat bahan mentah dan kondisi operasional selama reaksi *anaerob* seperti kelembaban, temperature, tingkat keasaman, kontur tanah, konsentrasi gas metana, oksigen, nutrisi, dan lain-lain [16].

Komposisi LFG dibandingkan *natural gas* dan biogas ditunjukkan pada Tabel 2.1. Kandungan gas metana pada LFG, yaitu sebesar 40-58 vol%, lebih kecil dibandingkan *natural gas* dan biogas.

Tabel 2.1 Komposisi dari Gas Alam, Biogas dan *Landfill Gas*.

<i>Component</i>	<i>Units</i>	<i>Natural Gas</i>	<i>Biogas</i>	<i>Landfill Gas</i>
Methane (CH ₄)	Vol%	91	55-70	45-58
Ethane (C ₂ H ₆)	Vol%	5,1	0	0
Propane (C ₃ H ₈)	Vol%	1,8	0	0
Butane (C ₄ H ₁₀)	Vol%	0,9	0	0
Pentane	Vol%	0,3	0	0
CO ₂	Vol%	0,61	30-45	32-45
Nitrogen (N ₂)	Vol%	0,32	0-2	0-3
Volatile Organic Compounds (VOC)	Vol%	0	0	0,25-0,0
Hydrogen (H ₂)	Vol%	0	0	Trace< 1%
Hydrogen sulphide (H ₂ S)	ppm	~1	~500	10-200
Ammonia (NH ₃)	ppm	0	~100	0
Carbon monoxide (CO)	ppm	0	0	trace

Sumber: Monnet (2004) [17]

Properties dari LFG dapat dihitung dengan menggunakan rumus *gas mixture* dimana *mol fraction* (y) dari komponen LFG diketahui. Jika y tidak diketahui maka LFG diasumsikan sesuai dengan tabel 2.1. *Persamaan gas mixture* ditunjukkan pada tabel 2.2 dan *properties* dari CH_4 dan CO_2 ditunjukkan pada tabel 2.3.

Densitas gas tergantung pada tekanan dan temperatur yang dirumuskan dengan persamaan (2.4).

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (2.4)$$

Dimana ρ adalah densitas gas dalam kg/m^3 , P adalah tekanan dalam Pascal, R adalah konstanta gas dalam $\text{m}^2/\text{s}^2 \cdot \text{K}$, dan T adalah temperatur dalam Kelvin.

Densitas LFG pada tekanan tertentu didapatkan dari persamaan (2.5) dengan membandingkan tekanan referensi.

$$\rho_g = \rho_g^0 \frac{P}{P_g^0} \quad (2.5)$$

Dimana ρ_g adalah densitas gas dalam kg/m^3 , ρ_g^0 adalah densitas pada tekanan referensi, P_g^0 adalah tekanan referensi, dan P adalah tekanan yang gas dalam Pascal.

Pada penelitian Desideri (2003) densitas LFG diasumsikan sebesar $1,26 \text{ kg/m}^3$ [22]. Sedangkan pada penelitian Grima-Olmedo (2014), densitas LFG sebesar $0,945 \text{ kg/m}^3$ dimana komposisi gas metana 51,45 % dan karbondioksida 34,2 % pada temperatur 15°C [6].

Viscositas dari CH_4 dan CO_2 dirumuskan dengan persamaan (2.6) dan (2.7) [23].

$$\mu_{\text{CH}_4} = (1,935 + 0,0305\Phi) \times 10^{-6} \quad (2.6)$$

$$\mu_{\text{CO}_2} = (-30,212 + 0,256\Phi - 0,00035\Phi^2) \times 10^{-6} \quad (2.7)$$

Dimana Φ adalah temperatur LFG dalam Kelvin.

Tabel 2.2 *Properties* dari CH₄ dan CO₂ pada 1 atm dan 20°C.

<i>Properties</i>	<i>Units</i>	CH ₄	CO ₂
<i>Molecular Weigth, M</i>		16,04	44,01
<i>R</i>	m ² /s ² .K	518,3	188,9
Densitas, ρ	kg/m ³	0,0667	1,83
Viskositas, μ	mPa.s	0,011	0,0147
<i>Critical Pressure, Pc</i>	MPa	4,64	7,39
<i>Critical Temperature, Tc</i>	K	191,1	304,2
<i>Critical Volume, Vc</i>	m ³ /kmol	0,0993	0,0943
<i>Specific Heat</i>	Btu/lb/°F*	0,52676	0,19909
<i>k</i>		1,32	1,3
<i>n</i>		0,87	0,79

Sumber: Holman (1985) [18]dan White (2010)[19].

Tabel 2.3 Persamaan*Gas Mixture*.

<i>Properties</i>	Persamaan	No
<i>Molecular Weight</i>	$M = \sum y_i M_i$	(1)
<i>Specific Gravity</i>	$G_m = M / M_{air} = M / 29$	(2)
<i>Adjusment Factor</i>	$\varepsilon = 120(A^{0.9} - A^{1.6}) + 15(B^{0.5} - B^{4.0})$ Dimana: A = jumlah fraksi mol CO ₂ dan H ₂ S B = fraksi mol H ₂ S	(3)
<i>Critical Temperature, °K</i>	$T_c = \sum y_i T_{c_i}$ $T_{c'} = T_c - \varepsilon$	(4) (5)
<i>Critical Pressure, Mpa</i>	$P_c = \sum y_i P_{c_i}$ $P_{c'} = \frac{P_c \times T_{c'}}{T_c + B(1 - B)\varepsilon}$	(6) (7)
<i>Compressibility Factor</i>	Grafik Standing-Katz $P_r = \frac{P}{P_{c'}}$ $T_r = \frac{T}{T_{c'}}$	(8)

Tabel 2.3 (Terusan)

<i>Properties</i>	Persamaan	No
	$Z = \frac{1}{1 + \left(\frac{P_{avg} 344400 (10)^{1,785G}}{T_f^{3,825}} \right)}$	(9)
Viscosity, Pa.s	$\mu = \mu_m \times (\mu / \mu_0)$ $\mu_m = \frac{\sum \mu_i y_i \sqrt{M_i}}{\sum y_i \sqrt{M_i}}$	(10) (11)
Density, kg/m ³	$\rho_m = \sum y_i \rho_i$	(12)

Sumber: Holman (1985)[18], Liu (2003)[20], dan Menon (2003)[21].

2.5 Pretreatment LFG

LFG mengandung *trace component* yaitu uap air, *hydrogen sulfide*, *siloxane*, *hydrocarbon*, *ammonia*, oksigen, *carbon monoxide*, dan nitrogen [15]. *Trace component* dapat menyebabkan korosi pada instrument. Karbon dioksida harus diturunkan untuk meningkatkan nilai kalori dan densitas sehingga sesuai dengan spesifikasi *wobble index*.

Kadar air maksimal yaitu 100 mg/m³ untuk memenuhi standar kualitas *pipeline*. Metode yang digunakan untuk menghilangkan kadar air serta debu dan *foam* yaitu secara kodensasi, *adsorptiom* atau *absorption*. Metode kodensasi terdiri dari *demister*, *cyclone separator*, *moisture trap*, dan *water trap*. Kodensasi dapat menghilangkan debu dan minyak. Selain itu metode ini sederhana dan biasanya digunakan untuk *pretreatment*. Metode *adsorption* atau *abdorption* terdiri dari *adsorption dryer silica* dan aluminium, *adsorption glycol*, dan *absorption hygroscopic salt*. Metode ini memiliki efisiensi yang

tinggi tetapi membutuhkan biaya yang besar dan volume gas yang besar ($>500 \text{ m}^3/\text{h}$) sehingga dapat bernilai ekonomis.

Penghilangan H_2S dan CO_2 dengan cara *absorption*. Salah satunya dengan menggunakan air. LFG dicuci menggunakan air bertekanan tinggi (1000-2000 kPa). Penurunan kadar CO_2 dan H_2S terjadi pada saat LFG melalui air. Metode ini memiliki efisiensi 95%, murah, dan sederhana. Kehilangan CH_4 hanya 2% karena perbedaan besar solubilitas dari CO_2 dan CH_4 [24].

2.6 Head Loss

Aliran fluida di dalam pipa mengikuti persamaan Bernoulli, yang ditunjukkan pada persamaan (2.8).

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{\bar{V}_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\bar{V}_2^2}{2g} + z_2 + h_{l_T} \quad (2.8)$$

Dimana P_1 adalah tekanan *upstream*, P_2 adalah tekanan *downstream*, \bar{V}_1 adalah kecepatan rata-rata *upstream*, \bar{V}_2 adalah kecepatan rata-rata *downstream*. \bar{V} didapatkan dengan membagi debit dengan luas penampang pipa. z adalah elevasi pipa dalam m, dan h_l adalah *headloss*.

Kecepatan fluida dalam pipa didapatkan dengan persamaan (2.9).

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (2.9)$$

Dimana Q adalah debit fluida dalam m^3/s , A adalah cross sectional pipa dalam m^2 , D adalah diameter dalam pipa dalam meter.

Total head loss adalah penjumlahan *major loss* dan *minor loss*, dirumuskan dengan persamaan (2.10).

$$h_{l_T} = h_l + h_{l_m} \quad (2.10)$$

Pressure drop pada segment pipa dapat dirumuskan dengan persamaan (2.11) dan (2.12).

$$\Delta P = \rho g h_{l_T} = \rho g (h_l + h_{l_m}) \quad (2.11)$$

$$\Delta P = \rho g \left[\frac{\bar{V}^2}{2g} \left(f \frac{L}{D} + \sum K \right) \right] \quad (2.12)$$

Dimana ΔP adalah *pressure drop*, h_l adalah *major headloss*, f adalah *friction factor*, L adalah panjang pipa, D adalah diameter dalam pipa, dan K adalah *loss coefficient* pada *fitting*.

2.6.1 Major Losses (h_l)

Major losses terjadi akibat gesekan fluida dengan permukaan pipa. *Major losses* dapat dirumuskan dengan persamaan (2.13).

$$h_l = f \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad (2.13)$$

Dimana ΔP adalah *pressure drop*, h_l adalah *major headloss*, f adalah *friction factor*, L adalah panjang pipa, dan D adalah diameter dalam pipa.

Besar nilai Re menentukan jenis aliran fluida. Jika $Re \leq 2000$ maka aliran laminar. Jika $2000 < Re < 4000$ maka aliran transisi. Sedangkan jika $Re > 4000$ maka aliran turbulent.

Nilai Re dirumuskan dengan persamaan (2.14).

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} \quad (2.14)$$

Dimana Re adalah reynold number, V adalah kecepatan aliran fluida dalam m/s, D adalah diameter dalam pipa dalam m, ρ adalah massa jenis fluida dalam kg/m^3 , dan μ adalah viskositas fluida dalam N.s/m^2 .

Nilai f pada aliran laminar dan turbulen ditunjukkan oleh persamaan (2.15) dan (2.16).

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.15)$$

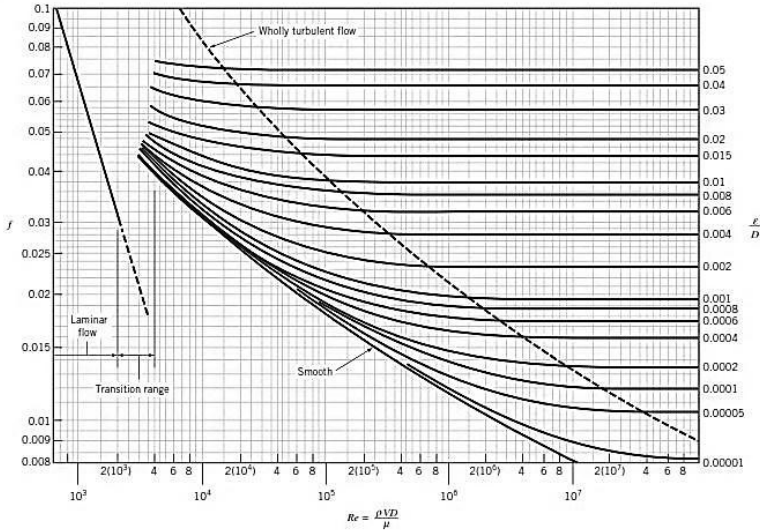
$$f = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}} \quad (2.16)$$

Nilai f juga dapat ditemukan pada Moody's Diagram yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Dimana nilai *roughness* (ϵ) ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Nilai *roughness* (ϵ) pada berbagai komersial *duct*.

Bahan	Kondisi	ft	mm	<i>Uncertainintly</i> (%)
Stell	Sheet metal, new	0,00016	0,05	±60
	Stainless, new	0,000007	0,002	±50
	Commercial, new	0,00015	0,046	±30
	Riveted	0,01	3,0	±70
	Rusted	0,007	2,0	±50
Iron	Cast, new	0,00085	0,26	±50
	Wrought, new	0,00015	0,046	±20
	Galvanized, new	0,0005	0,15	±40
	Asphalted cast	0,0004	0,12	±50
Brass	Drawn, new	0,000007	0,002	±50
Plastic	Drawn tubing	0,000005	0,0015	±60
Glass	-	Smoth	Smooth	
Concentrate	Smoothed	0,00013	0,04	±60
	Rought	0,007	2,0	±50
Rubber	Smoothed	0,000033	0,01	±60
Wood	Stave	0,0016	0,5	±40

Sumber: Okiishi dkk (2013)



Gambar 2.9 Moody Diagram.
(Okiishi, 2013)

2.6.2 Minor Losses (h_{l_m})

Pada sistem pipa, fluida akan melalui *fitting*, *bend*, atau *valve* sehingga terjadi *minor losses*. *Minor losses* dapat dirumuskan dengan persamaan (2.17) atau (2.18).

$$h_{l_m} = K \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad (2.17)$$

$$h_{l_m} = f \frac{L_e}{D} \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad (2.18)$$

Dimana K adalah *loss coefficient* dan L_e adalah *equivalent length* pipa dalam m.

Loss coefficient (K_L) pada valve dan fitting ditunjukkan pada Tabel 2.5 dan 2.6[25]. *Loss coefficient* pada *gradual contraction* ditunjukkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.5 *Loss Coefficient pada Valve dan Fitting.*

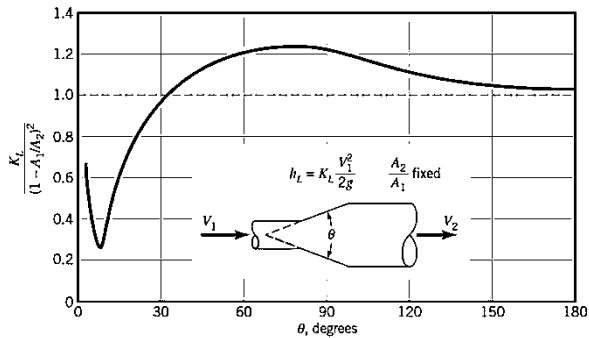
Component		L/D	K_L
Elbow	Regular 90°, threaded	30	1,5
	Long 90°, threaded	16	0,7
	Regular 45°, threaded	16	0,4
180° return bends, threaded			1,5
Tees	Line flow, threaded	20	0,9
	Branch flow, threaded	60	2,0
Union, threaded			0,08
Valves	Globe, fully open	340	10
	Angle, fully open	55	2
	Gate, fully open	8	0,15
	Gate, ¼ closed	8	0,26
	Gate, ½ closed	8	2,1
	Gate, ¾ closed	8	17
	Swing check, forward flow	50	2
	Swing check, backward flow	50	∞
	Ball valve, fully open	3	0,05
	Ball valve, 1/3 closed	3	5,5
	Ball valve, 2/3 closed	3	210

Sumber: Fox (1994) [7] dan Okiishi dkk (2013) [25].

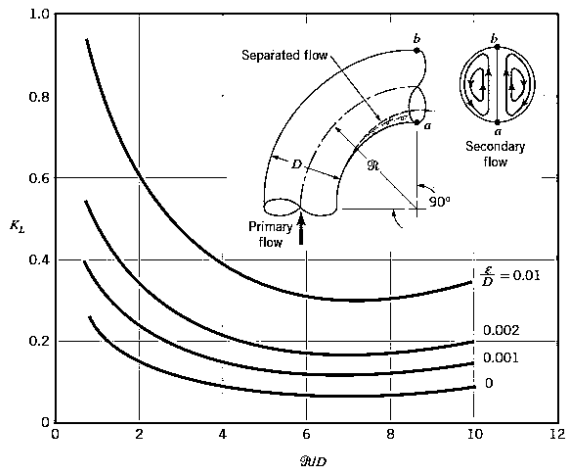
Tabel 2.6 *Loss Coefficient pada Gradual Contraction.*

A_2/A_1	Included Angle (θ)						
	10°	15°-40°	50°-60°	90°	120°	150°	180°
0,50	0,05	0,05	0,06	0,12	0,18	0,24	0,26
0,25	0,05	0,04	0,07	0,17	0,27	0,35	0,41
0,1	0,05	0,05	0,08	0,19	0,29	0,37	0,43

Loss coefficient pada pipe bend Gambar 2.10 dan 2.11. Sudut θ pada *gradual contraction* dan *diffuser* merupakan sudut yang dibentuk oleh fitting. Sudut didapatkan dengan perhitungan manual dari spesifikasi reducing socket Wavin AW yang ditunjukkan pada Tabel 2.11. Dimana θ adalah 2α dan α adalah sudut tangent yang dibentuk oleh reducing socket.



Gambar 2.10 *Loss Coefficient pada Gradual Diffuser.*
(Okiish, 2013)



Gambar 2.11 *Loss Coefficient pada Pipe Bend 90°.*
(Okiish, 2013)

2.7 Mutiple Flow

Mutiple flow pada pipa dibagi menjadi dua, yaitu pipa yang dipasang seri dan pipa yang dipasang paralel.

2.7.1 Pipa yang Dipasang Seri

Jika dua buah pipa atau lebih dipasang secara seri, semua pipa akan dilewati oleh aliran yang sama dan total

headloss pada seluruh sistem adalah jumlah *headloss* pada setiap pipa dan *fitting*. Hal ini ditunjukkan persamaan (2.19) dan (2.21).

$$Q_0 = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots \quad (2.19)$$

$$Q_0 = V_1 A_1 = V_2 A_2 + V_3 A_3 + \dots \quad (2.20)$$

$$\sum h_L = h_{f1} + h_{f2} + h_{f3} + \dots + h_L \quad (2.21)$$

Dari persamaan diatas didapatkan persamaan (2.23).

$$Le = L_1 + Le_{11} + Le_{21} \quad (2.22)$$

$$Le = L_1 + L_2 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^5 + L_3 \left(\frac{D_1}{D_2} \right) \quad (2.23)$$

Headloss pada pipa yang disusun seri dapat dihitung dengan menggunakan *equivalent lenght* (Le) yang ditunjukkan pada persamaan (2.20). Selain itu, *headloss* dapat dihitung pada setiap segment agar didapatkan hasil yang akurat ([20], [21])..

2.7.2 Pipayang Dipasang Paralel

Jika dua buah pipa atau lebih dipasang secara paralel, total laju aliran sama dengan jumlah laju aliran yang melalui setiap *branch* dan *headloss* padasebuah *branch* sama dengan pada yang lain. Hal ini ditunjukkan persamaan (2.24) dan (2.26).

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 \quad (2.24)$$

$$Q_0 = V_1 A_1 + V_2 A_2 \quad (2.25)$$

$$h_{1,1} = h_{1,2} \quad (2.26)$$

Persamaan *pressure drop* menunjukkan bahwa hubungan antara debit, panjang pipa, dan diameter dalam pipa dapat dirumuskan dengan persamaan (2.27).

$$\frac{Q_1^2 L_1}{D_1^5} = \frac{Q_2^2 L_2}{D_2^5} \quad (2.27)$$

Debit fluida yang melalui tee dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.29) dan (2.30) ([20], [21])..

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{L_1}{L_2} \right)^{0.5} \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^{2.5} = m \quad (2.28)$$

$$Q_1 = \frac{1}{m+1} Q \quad (2.29)$$

$$Q_2 = \frac{m}{m+1} Q \quad (2.30)$$

2.7 Average Pipe Segment Pressure (P_{avg})

Tekanan rata-rata pada *segment* pipa didapatkan dengan persamaan (2.31). Tekanan rata-rata ini digunakan untuk menghitung besar compressibility (Z) gas pada setiap segment pipa yang didapatkan dengan persamaan CNGA. Tekanan yang digunakan adalah *pressure gauge* (P_g) ([20], [21]).

$$P_{avg} = \frac{2}{3} \left(P_1 + P_2 - \frac{P_1 \times P_2}{P_1 - P_2} \right) \quad (2.31)$$

2.8 Spesifikasi Pipa dan *Fitting*

Pipa dan fitting yang digunakan adalah merk Wavin. Spesifikasi PVC ditunjukkan pada Tabel 2.7. Spesifikasi pipa ditunjukkan pada tabel 2.8. Pipa dan fitting yang digunakan pada sambungan rumah yaitu ukuran ½” sedangkan pada jaringan pipa pelanggan yaitu ukuran ½”, 1”, 1 ¼”, dan 2”.

Tabel 2.7 Spesifikasi PVC Tipe AW Wavin.

<i>Property</i>	<i>Unit</i>	<i>Value</i>
<i>Spesific gravity</i>	g/cm ²	1,4
<i>Coefficient of linier expansion</i>	mm/m.K	8,00x10 ⁻²
<i>Thermal conductivity</i>	W/m.K	0,15
<i>Modulus of elasticity</i>	N/mm ²	3000
<i>Surface resistance</i>	Ω	> 1.00 x10 ¹²
<i>Working pressure</i>	kg/cm ²	10

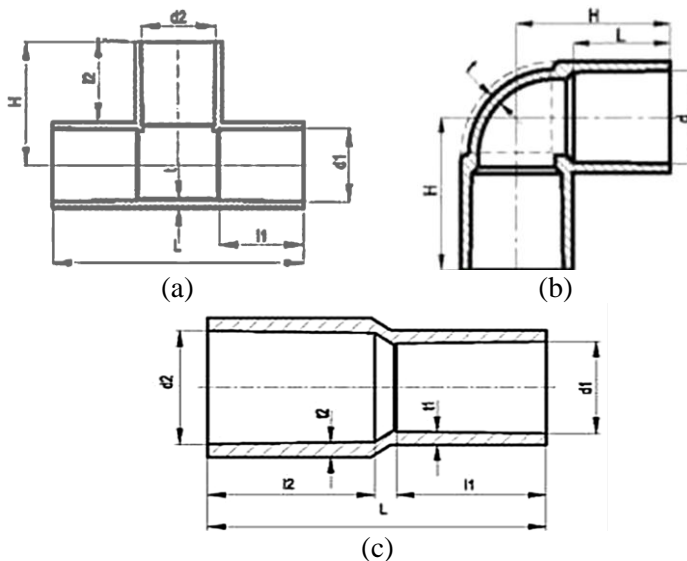
Sumber: Wavin (n.d.)

Tabel 2.8 Spesifikasi Pipa Wavin AW.

Ukuran	DO mm	t (mm)	DI(mm)	L (m)
1/2"	22	1,5	19	4
1"	32	2	28	4
1 1/4"	42	2,3	37,4	4
2"	60	2,3	55,4	4

Sumber: Wavin (n.d.)

Fitting yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.12. Fitting yang digunakan umumnya hanya tee, elbow, dan reducing socket dengan ukuran 1/2", 1", 1 1/4", dan 2". Spesifikasi fitting ditunjukkan pada Tabel 2.9, Tabel 2.10, dan Tabel 2.12. fitting diasumsikan sama yaitu fitting dengan Merk Wavin Tipe AW.



Gambar 2.12 (a) Tee, (b) Elbow, dan (c) Reducing Socket.
(Wavin, n.d.)

Tabel 2.9 Spesifikasi Tee Wavin Tipe AW dalam mm.

Ukuran	d1	l1	d2	l2	H	L	t
½"	22,4	30	22,4	30	43	86	3,3
1"	32,5	40	32,5	40	58	116	3,8
1 ¼"	42,6	44	42,6	44	69	138	4,2
2"	60,8	63	60,8	63	96	192	4,6

Sumber: Wavin (n.d.)

Tabel 2.10 Spesifikasi Elbow Wavin Tipe AW dalam mm.

Ukuran	d	L	H	T
½"	22,4	30	43	3,5
1"	32,5	40	58	4,0
1 ¼"	42,6	44	70	4,5
2"	60,8	63	96	5,0

Sumber: Wavin (n.d.)

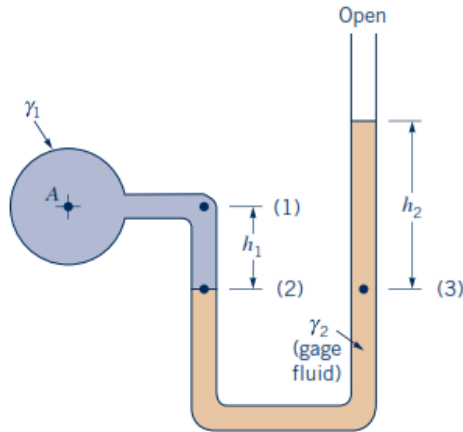
Tabel 2.11 Spesifikasi Reducing Socket Wavin dalam mm .

Ukuran	d1	d2	L	l1	l2	t1	t1
1"x½"	22,4	32,55	84	30	40	3,3	3,7
1¼"x½"	22,4	42,6	99	30	44	3,3	4,2
2"x1"	32,5	60,8	140	40	63	3,8	4,6
2"x1¼"	42,6	60,8	125	44	63	3,2	4,6

Sumber: Wavin (n.d.)

2.9 Pengukuran Tekanan dengan Manometer

Pengukuran tekanan LFG dapat dilakukan dengan menggunakan manometer pipa U yang ditunjukkan oleh Gambar 2.13. Fluida gauge yang digunakan umumnya digunakan yaitu merkuri dan air.



Gambar 2.13 Manometer Pipa U.
(Okiishi, 2013)

Tekanan gas dirumuskan dengan persamaan (2.29).

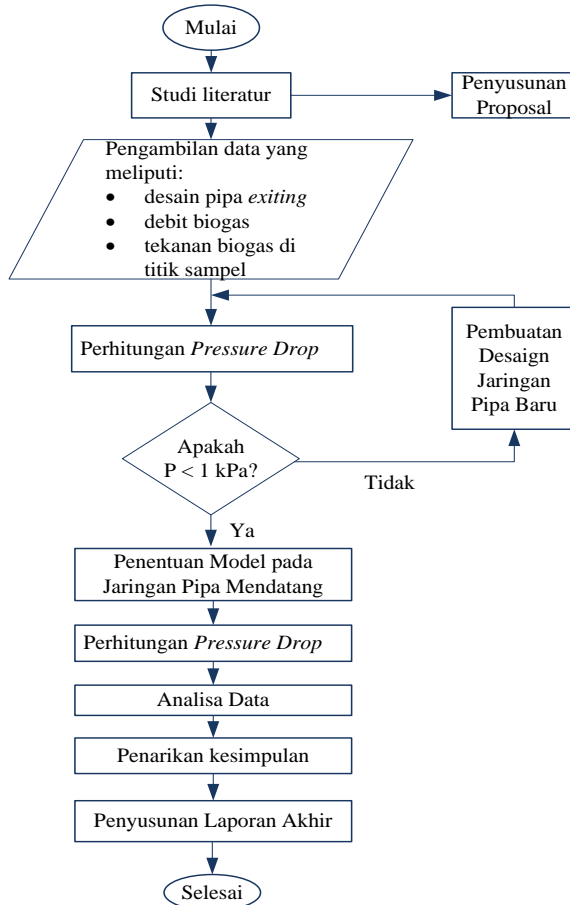
$$P_A = \gamma_2 h_2 - \gamma_1 h_1 \quad (2.29)$$

Dimana P_A adalah tekanan fluida yang diukur, γ_1 adalah *specific gravity* dari fluida yang diukur, h_1 adalah ketinggian fluida yang diukur dalam meter, γ_2 adalah *specific gravity* dari fluida *gage*, h_2 adalah ketinggian fluida *gage* dalam meter.

P_{abs} adalah tekanan gas absolut dalam Pa, P_0 adalah tekanan atmosfer, P_g adalah *pressure gauge* dalam Pa, γ adalah *specific gravity* dari fluida di manometer, dan h adalah selisih ketinggian fluida di manometer dalam meter. P_0 sebesar 101325 Pa dan γ air sebesar 1000 kg/m³[25].

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mencapai tujuan penelitian ini maka dilakukan tahapan-tahapan penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.1, dengan penjelasan sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

3.1 Studi Literatur

Tahap studi literatur dilakukan untuk mengetahui biogas *landfill*, *pressure drop*, dan perhitungan *pressure drop*. Materi tentang biogas *landfill* meliputi pengertian *MSW (Municipal Solid Waste)*, *sanitary landfill*, *control landfill*, proses pembentukan LFG (*landfill gas*), *properties LFG (landfill gas)*, dan *pressure drop* fluida tidak mampat dalam pipa.

3.2 Pengambilan Data

Data yang dibutuhkan meliputi spesifikasi pipa, karakteristik biogas, produksi biogas, dan pemakaian biogas. Spesifikasi pipa terdiri dari diameter luar, diameter dalam, ketebalan, dan sebagainya. Karakteristik biogas meliputi komposisi dan temperatur biogas. *Pressure* dan debit biogas didapatkan dengan pengukuran langsung.

3.2.1 Persiapan Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam pengukuran adalah sebagai berikut: meteran; manometer, termometer raksa; pipa dan fitting dengan *nominal 1/2"*; serta nipple *3/4"*.

3.2.2 Pengukuran dan Pembuatan Desain Jaringan Pipa Existing

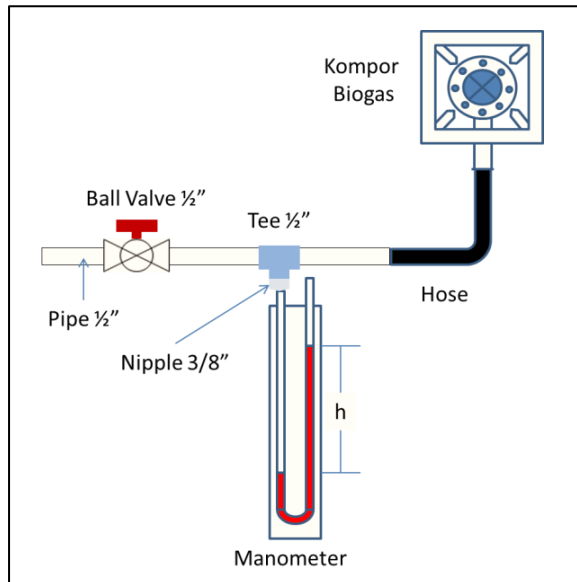
Pengukuran panjang pipa dilakukan dengan menggunakan meteran. Desain jaringan pipa digambar sesuai keadaan di lapangan. Pipa pada *branch* sambungan rumah digambar secara garis besar. Ukuran rumah pelanggan diasumsikan seragam yaitu berukuran 6 m x 10 m dan pipa sambungan ke kompor sejauh 1 m.

3.2.3 Pengukuran Debit Biogas

Pengukuran debit dilakukan dengan pembacaan meteran gas yang sudah ada. Pengukuran dilakukan setiap satu jam atau dua jam. Selisih volume dibagi dengan lama waktu pengamatan merupakan besar debit biogas yang didistribusikan setiap jamnya kepada pelanggan.

3.2.4 Pengukuran Tekanan dan Temperatur di Titik Sampel

Tekanan biogas didapatkan dengan pengukuran menggunakan manometer air dengan ujung tertutup. Manometer dipasang sesuai dengan Gambar 3.2. Manometer dipasang pada tiga rumah kontrol (RK) yaitu RK1 (RT 5), RK2 (RT 7) dan RK3 (RT 4). Pengukuran dilakukan ketika ball valve dibuka setiap satu jam atau dua jam. Tekanan absolut dihitung dengan menggunakan persamaan (2.26). Pengukuran temperatur lingkungan dan biogas dilakukan sekali.



Gambar 3.2 Konfigurasi Pemasangan Manometer.

3.3 Perhitungan *Properties* LFG

Perhitungan *properties* LFG didapatkan dari persamaan pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.7 dimana fraksi mol (y) CH_4 dan CO_2 diasumsikan sebesar 0,5 dan 0,5. Viskositas dihitung dengan persamaan (). Densitas pada saat tekanan tertentu dihitung dengan persamaan (2.2).

3.4 Perhitungan *Pressure Drop*

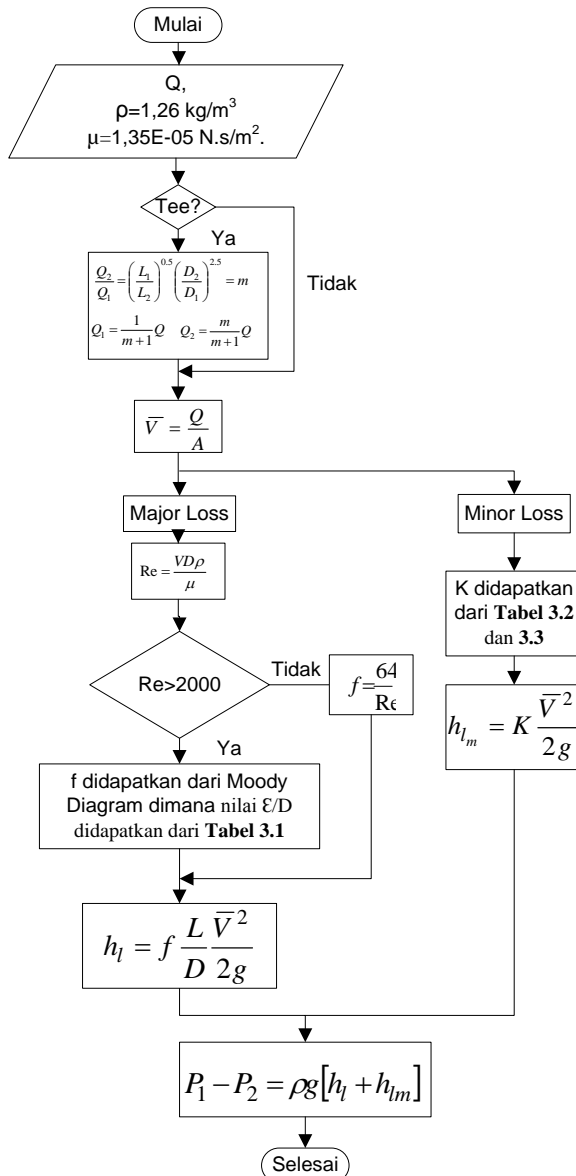
Perhitungan *pressure drop* dilakukan dengan menggunakan persamaan Darcy yang ditunjukkan pada persamaan (2.8). Dimana densitas LFG 1,26 kg/m³ dan viskositas LFG $1,35 \times 10^{-5}$ Pa.s pada temperatur 20 °C. Viskositas LFG dapat dihitung dengan persamaan (11) pada Tabel 2.3. Viskositas metana dan karbon dioksida dirumuskan dengan persamaan (2.6) dan (2.7)

Secara garis besar perhitungan *pressure drop* ditunjukkan pada Gambar 3.3. Perhitungan *pressure drop* dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

Q LFG yang melalui pipa dicari terlebih dahulu. Q awal yaitu Q rata-rata didapatkan dari hasil pengukuran. Jika pipa melewati tee maka Q dihitung dengan persamaan (2.29) dan (2.30), dimana m dihitung dengan persamaan (2.28). Kemudian, \bar{V} didapatkan dengan persamaan (2.9).

Re dihitung terlebih dahulu untuk mengetahui jenis aliran LFG. Re dihitung dengan persamaan (2.14). *Friction factor* untuk $Re < 2000$ didapatkan dengan persamaan (2.15) sedangkan untuk $Re > 2000$ didapatkan dengan Moody Diagram. Dimana *roughness* pipa PVC yaitu 0,0015 dan D didapatkan dari Tabel 2.8. Nilai ϵ/D ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Major loss dihitung dengan persamaan (2.13). *Minor loss* dihitung dengan persamaan (2.17). Dimana koefisien K pada fitting ditunjukkan pada Tabel 2.5 dan Tabel 3.3. ρ pada setiap segmen pipa dihitung dengan persamaan (2.5).



Gambar 3.3 Diagram Alir Perhitungan

Tabel 3.1 Nilai ϵ/D pada Pipa

Size	DO	t	DI	ϵ/D
$\frac{1}{2}$ "	22	1,5	19	$7,89474 \times 10^{-5}$
1	32	2	28	$5,35714 \times 10^{-5}$
$1 \frac{1}{4}$ "	42	2,3	37,4	$4,0107 \times 10^{-5}$
2"	60	2,3	55,4	$2,70758 \times 10^{-5}$

Tabel 3.2 Koefisien K untuk Fitting

Component		K_L
Elbow	Regular 90°, threaded	1,5
	Long 90°, threaded	0,7
	Regular 45°, threaded	0,4
Tees	Line flow, threaded	0,9
	Branch flow, threaded	2,0
Union, threaded		0,08
Valves	Ball valve, fully open	0,05
	Ball valve, $\frac{1}{3}$ closed	5,5
	Ball valve, $\frac{2}{3}$ closed	210

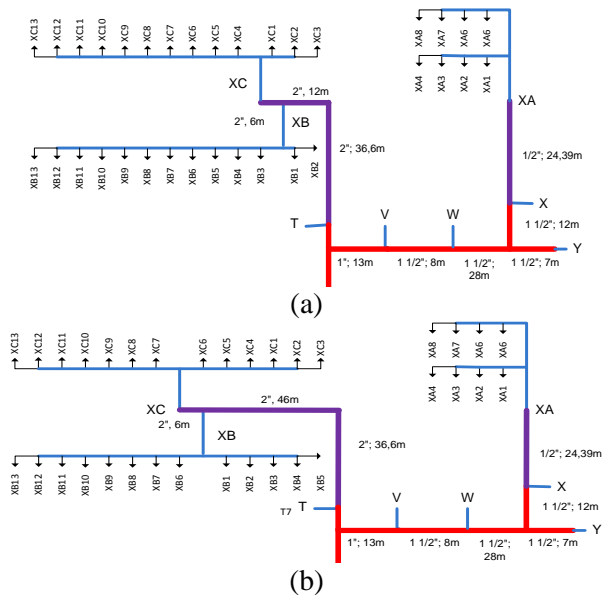
Tabel 3.3 Koefisien K untuk Reducing Socket dan Diffuser Socket

Ukuran	A_1/A_2	θ	Reducing	Diffuser
			K_L	K_L
$1'' \times \frac{1}{2}''$	0,47	40°	0,05	0,30
$1 \frac{1}{4}'' \times 1''$	0,58	44°	0,07	0,63
$2'' \times 1''$	0,29	42°	0,04	0,56
$2'' \times 1 \frac{1}{4}''$	0,49	54°	0,06	0,31

3.5 Penentuan Desain Jaringan Pipa Pelanggan BiogasFuture

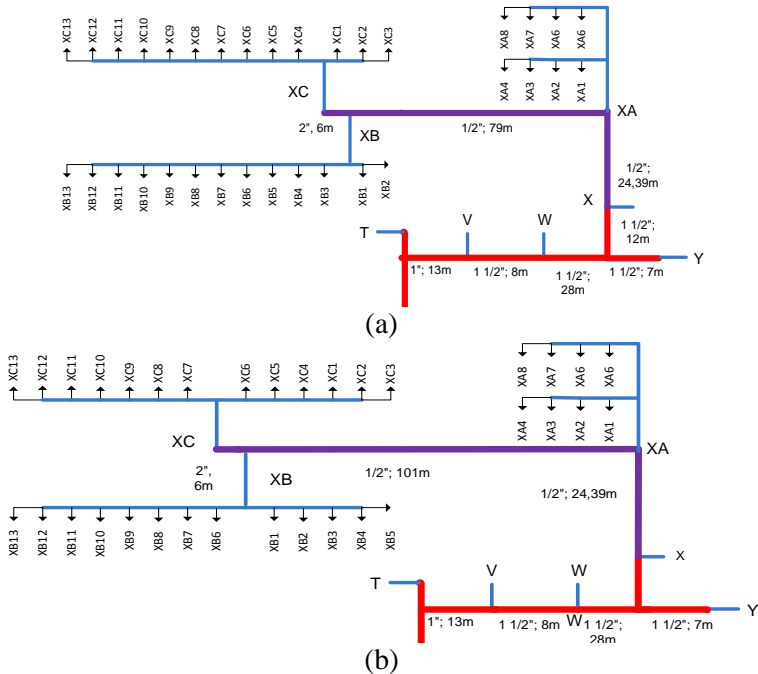
Desain jaringan pipa pelanggan biogas didapatkan dengan memanipulasi posisi *branch* dan model *branch*. *Pressure drop* pada setiap model dihitung sesuai dengan Gambar 3.3. Hasil perhitungan pada *branch* XA, XB, dan XC dengan model-model tersebut dibandingkan dan dipilih model dengan *pressuredownstream* tertinggi. Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk grafik pada setiap cabang yang dicari. Variasi *branch* XA, XB, dan XC yang didapatkan sebanyak delapan model yaitu A1, A2, A3, B1, B2, dan B3. A dan B menunjukkan model *branch* sedangkan 1, 2, 3, dan 4 menunjukkan posisi *branch*.

Model A1 dan B1 ditunjukkan pada Gambar 3.4. *Branch* XB dan XC dicabang pada T. Sedangkan *branch* XA dicabang pada X.



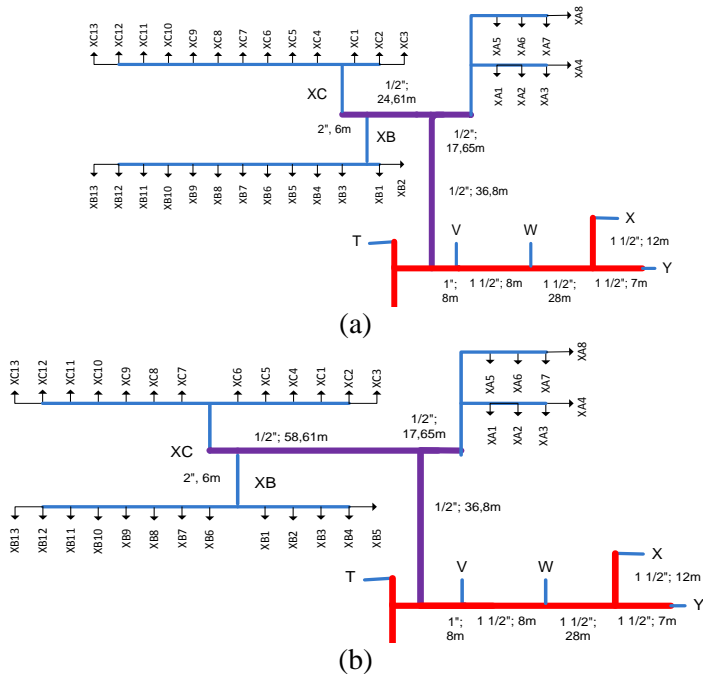
Gambar 3.4 Variasi Posisi 1 yaitu (a) Model A1 dan (b) Model B1.

Model A2 dan B2 ditunjukkan pada 3.5. Posisi *branch* baru berada setelah *branch* X. *Branch* XA dicabang pada X. Sedangkan *branch* XB dan XC dicabang pada XA.



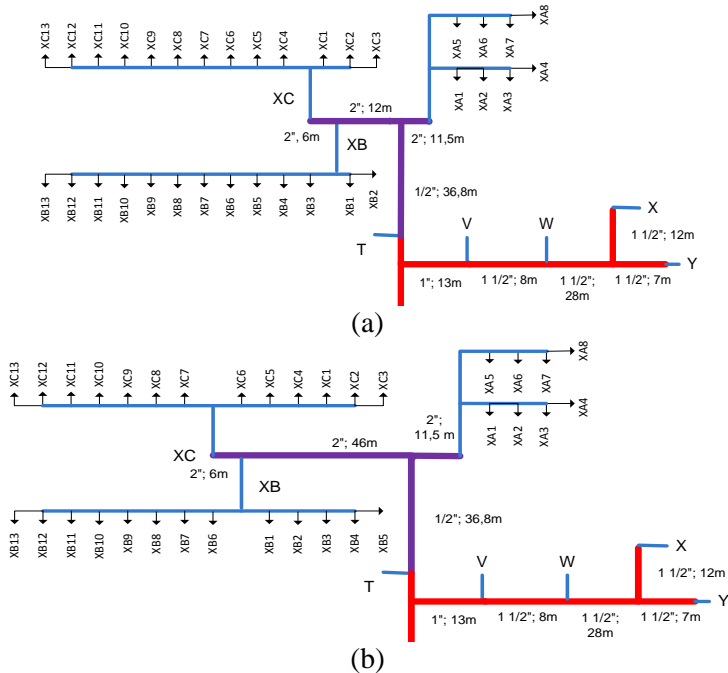
Gambar 3.5 Variasi Posisi 2 yaitu (a) Model A1 dan (b) Model B2.

Model A3 dan B3 ditunjukkan pada Gambar 3.6. Posisi *branch* baru di antara *branch* T dan V. *Branch* XA, XB dan XC dicabang sebelum V.



Gambar 3.6 Variasi Posisi 3 yaitu (a) Model A3 dan (b) Model B3.

Model A4 dan B4 ditunjukkan pada Gambar 3.7. Posisi *branch* baru sesudah *branch* T.Branch XA, XB dan XC dicabang dengan T.



Gambar 3.7 Variasi Posisi 2 yaitu (a) Model A4 dan (b) Model B4.

3.6 Analisa Data dan Pembahasan Hasil Penelitian

Analisa data dilakukan setelah mengetahui *pressure drop* pada jaringan pipa pelanggan biogas *existing* maupun *future*. Hasil perhitungan jaringan pipa *existing* dibandingkan dengan hasil pengukuran tekanan di titik sampel. Sedangkan hasil pengukuran *future* dengan variasi model dibandingkan dan dipilih model dengan tekanan terbesar. Dalam analisa data hasil penelitian ini akan diketahui apakah jaringan pipa *existing* memenuhi syarat $pressure < 1$ kPa dan bagaimana model jaringan pipa *future* yang terbaik.

3.7 Penarikan Kesimpulan

Penarikan kesimpulan dilakukan apabila telah memperoleh data-data selama penelitian dan pembahasan tentang penyebab ketidaksesuaian antara teori dan eksperimen. Penarikan kesimpulan disesuaikan dengan tujuan yang telah diajukan pada penelitian tugas akhir ini.

3.8 Penyusunan Laporan

Penyusunan laporan merupakan tahap akhir dari tugas akhir ini. Laporan akhir adalah bentuk pertanggungjawaban dari berbagai kegiatan yang telah dilakukan selama proses penelitian berlangsung. Setelah itu, hasilnya akan disampaikan secara tulisan dan lisan.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB IV

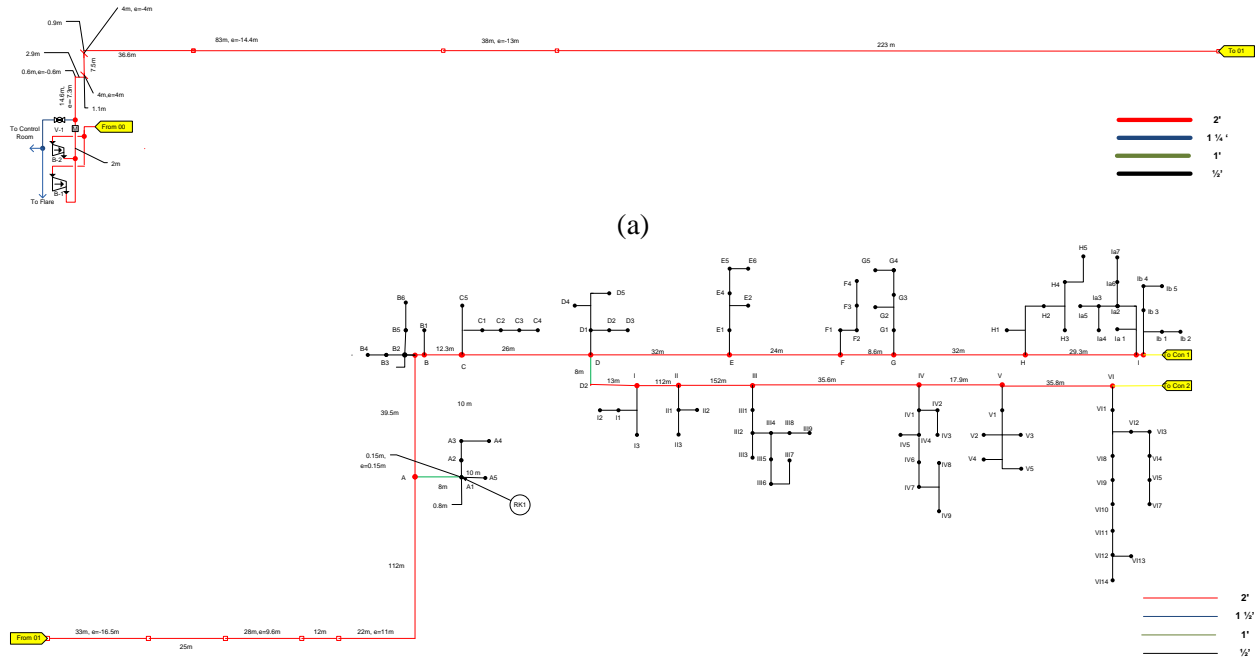
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan Data

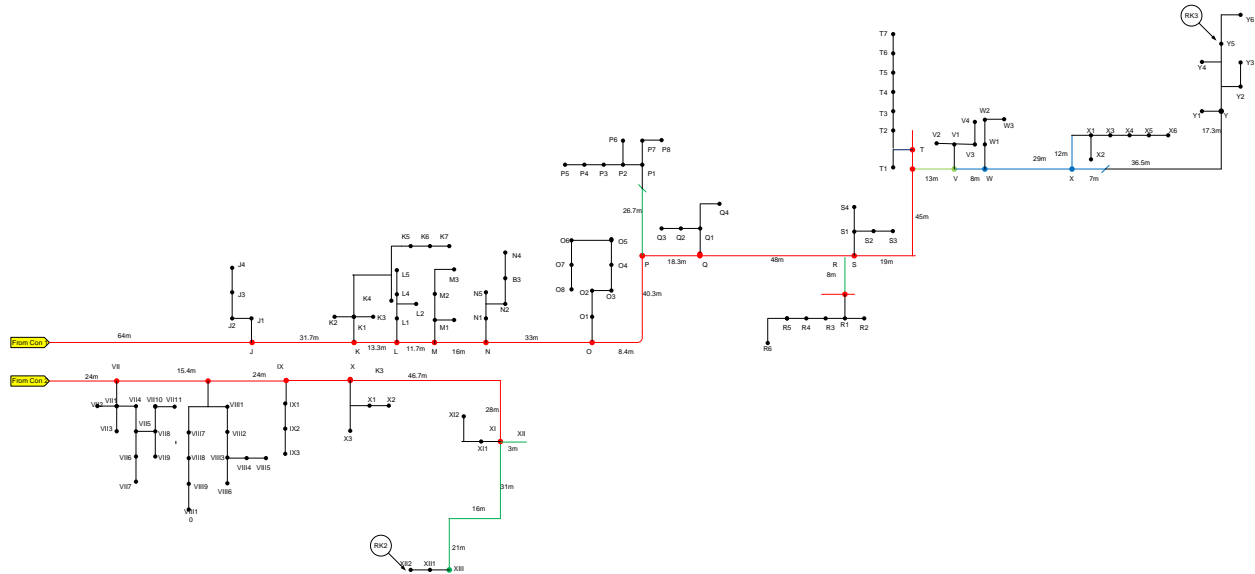
Pengambilan data dilakukan di TPA Supiturang. Data yang diambil meliputi Desain jaringan pipa *existing*, debit, tekanan dan temperatur di titik sampel.

4.1.1 Desain Jaringan Pipa *Existing*

TPA Supiturang mendistribusikan biogas ke 196 pelanggan menggunakan jaringan pipa. Desain jaringan pipa *existing* ditunjukkan pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3. Ukuran pipa ditunjukkan dengan warna garis. Pipa dengan ukuran $\frac{1}{2}$ ", 1", 1 $\frac{1}{2}$ ", dan 2" direpresentasikan oleh warna hitam, hijau, biru, dan merah. Sampel pada RK1, RK2, dan RK3 pada jaringan pipa yaitu A1, XIII2, dan Y5.



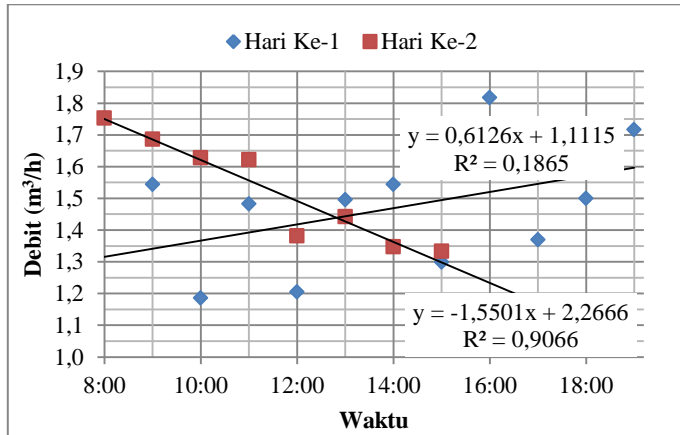
Gambar 4.1 Jaringan Pipa Pelanggan Biogas dengan (a) RK1 dan (b) RK2.



Gambar 4.2 Jaringan Pipa Pelanggan Biogas dengan R3.

4.1.2 Hasil Pengukuran Debit

Perhitungan *pressure drop* memerlukan data debit (Q) biogas yang mengalir pada jaringan pipa pelanggan biogas. Besar debit (Q) biogas yang disalurkan ke pelanggan diukur dengan menggunakan meteran gas pada hari pertama dan kedua yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.

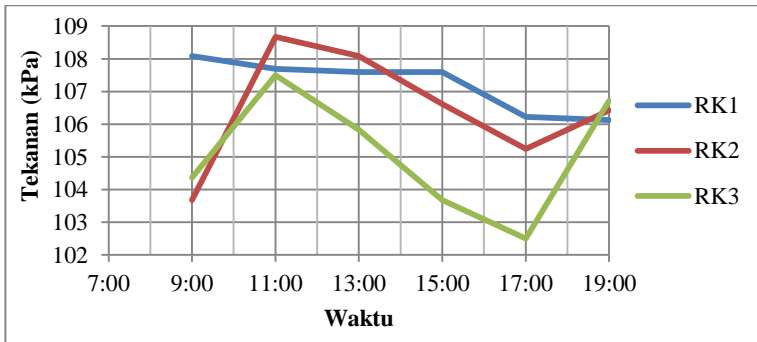


Gambar 4.3 Hasil Pengukuran Debit LFG dalam m³/h.

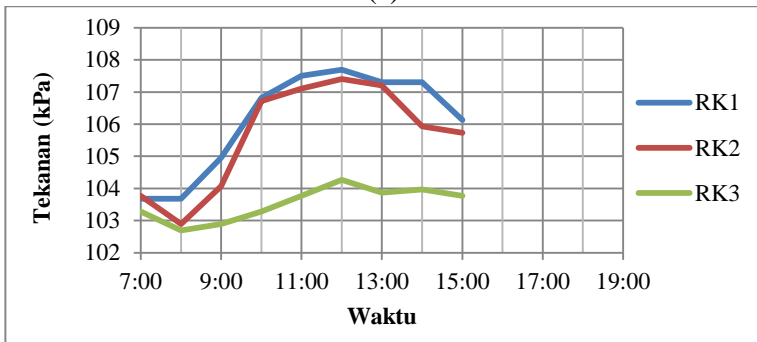
Data hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar 4.4. Pengukuran pada hari kedua tidak dapat dilakukan pada jam diatas 16:00 karena keterbatasan waktu. Debit biogas lebih kecil dari 2 m³/h dan nilainya fluktuatif. Pada hari pertama, debit terbesar terjadi pada pukul 16:00 dan debit terkecil pada pukul 10:00. Sedangkan pada hari kedua, debit terbesar terjadi pada pukul 08:00 dan terkecil terjadi pada pukul 15:00. Debit yang digunakan dalam perhitungan adalah debit rata-rata biogas yaitu sebesar 1.496346m³/h atau 0,000415652 m³/s.

4.1.3 Hasil Pengukuran Tekanan

Jaringan pelanggan biogas Supituran mencapai 196 sambungan rumah. Pengukuran tekanan tidak dapat dilakukan pada semua sambungan rumah pelanggan sehingga diambil tiga Rumah Kontrol (RK) yaitu RK1, RK2, dan RK3 yang sesuai dengan Gambar 4.1 dan Gambar 4.2. Data hasil pengukuran tekanan pada hari pertama dan kedua yang ditunjukkan pada Gambar 4.4a dan 4.4b. Tekanan di RK1, RK2, dan RK3 fluktuatif akibat konsumsi LFG yang berbeda setiap jamnya.



(a)



(b)

Gambar 4.4 Hasil Pengukuran Tekanan Absolut pada (a) Hari Pertama dan (b) Hari Kedua dalam kPa.

Pada hari pertama, tekanan RK1 yaitu sebesar $107,221 \pm 0,830 \text{ kPa}$. Tekanan terbesar terjadi pada pukul 09:00 yaitu sebesar $108,087 \text{ kPa}$ sedangkan tekanan terkecil terjadi pada pukul 19:00 yaitu sebesar $106,127 \text{ kPa}$. Tekanan di RK2 yaitu sebesar $106,454 \pm 1,833 \text{ Pa}$. Tekanan terbesar terjadi pada pukul 11:00 yaitu sebesar $108,675 \text{ kPa}$ sedangkan tekanan terkecil terjadi pada pukul 09:00 yaitu sebesar $103,677 \text{ kPa}$. Tekanan RK3 yaitu sebesar $105,098 \pm 1,909 \text{ kPa}$. Tekanan terbesar terjadi pada pukul 11:00 yaitu sebesar $107,449 \text{ kPa}$ sedangkan tekanan terkecil terjadi pada pukul 09:00 yaitu sebesar $102,501 \text{ kPa}$.

Pada hari kedua, tekanan RK1 yaitu sebesar $106,116 \pm 1,619 \text{ kPa}$. Tekanan terbesar terjadi pada pukul 12:00 yaitu sebesar $107,695 \text{ kPa}$ sedangkan tekanan terkecil terjadi pada pukul 07:00 dan 08:00 yaitu sebesar $103,677 \text{ kPa}$. Tekanan RK2 yaitu sebesar $107,401 \pm 1,675 \text{ kPa}$. Tekanan terbesar terjadi pada pukul 12:00 yaitu sebesar $107,401 \text{ kPa}$ sedangkan tekanan terkecil terjadi pada pukul 08:00 yaitu sebesar $102,893 \text{ kPa}$. Tekanan RK3 yaitu sebesar $103,535 \pm 0,523 \text{ kPa}$. Tekanan terbesar terjadi pada pukul 12:00 yaitu sebesar $104,265 \text{ kPa}$ sedangkan tekanan terkecil terjadi pada pukul 08:00 yaitu sebesar $102,697 \text{ kPa}$.

Tekanan mengalami penurunan pada hari kedua di RK1, RK2, dan RK3 yaitu sebesar $106,669 \text{ kPa}$, $106,051 \text{ kPa}$, dan $104,317 \text{ kPa}$. Prosentase penurunan tekanan di RK1, RK2, dan RK3 yaitu sebesar $1,03\%$, $0,76\%$, dan $1,49\%$. Penurunan terbesar terjadi di RK3.

4.2 Hasil Perhitungan *Properties* LFG

Perhitungan *properties* menggunakan persamaan-persamaan pada Tabel 2.2. Hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Properties LFG.

Properties	STD	RK1	RK2	RK3
P (kPa)	101,325	106,669	106,051	104,317
M	30,025	30,025	30,025	30,025
SG	1,035	1,035	1,035	1,035
ρ (kg/m ³)	1,260	1,326	1,319	1,297
μ (Pa.s)	$1,35 \times 10^{-5}$	$1,35 \times 10^{-5}$	$1,35 \times 10^{-5}$	$1,35 \times 10^{-5}$

4.3 Hasil Perhitungan Tekanan Awal pada Jaringan Pipa *Existing*

Perhitungan *pressure drop* menggunakan persamaan-persamaan yang sesuai dengan Gambar 3.3 pada model jaringan pipa *existing*. Tekanan pada titik 0 tidak diketahui sehingga dihitung sesuai metode perhitungan *pressure drop*. Data tekanan pada RK1 (A1) digunakan sebagai tekanan *downstream* sehingga didapatkan tekanan awal (P_0) sebesar 106672,093826205 Pa.

4.4 Hasil Perhitungan *Pressure Drop* pada Jaringan Pipa *Existing*

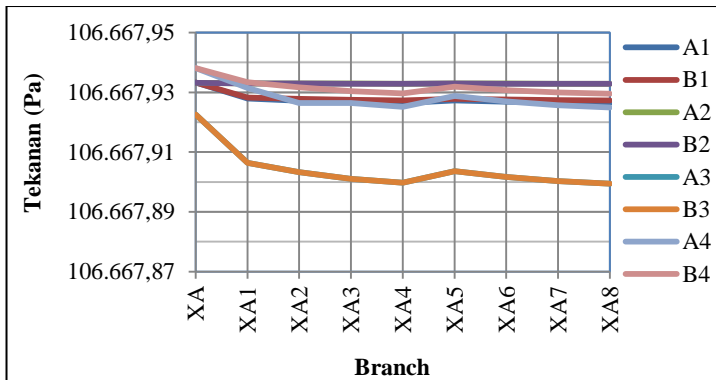
Perbandingan hasil pengukuran dan perhitungan pada RK1, RK2, dan RK3 yang ditunjukkan pada Tabel 4.2. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tekanan LFG ke kompor lebih besar dibandingkan tekanan optimum (1 kPa). *Error* antara hasil perhitungan dan hasil pengukuran kurang dari 3% sehingga hasil perhitungan telah sesuai dengan keadaan di lapangan. Hasil perhitungan *pressure drop* secara rinci dilampirkan di Lampiran E.

Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Pengukuran dan Perhitungan

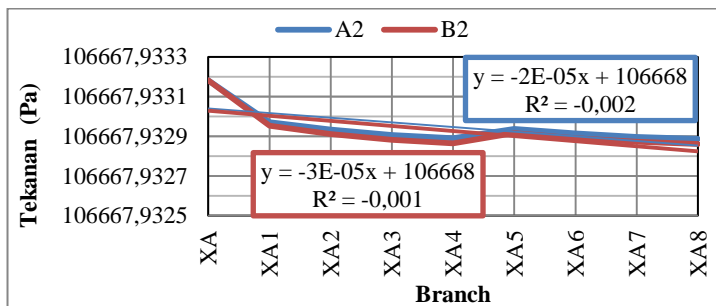
Sampel	Hasil pengukuran (Pa)	Hasil perhitungan (Pa)	Error (%)
RK1	106668,72222	106668,33284	-0,0004
RK2	106050,77778	106668,68911	0,5827
RK3	104316,72222	106667,76888	2,2538

4.5 Hasil Perhitungan *Pressure Drop* di *Branch* XA

Pada branch XA didapatkan bahwa tekanan tertinggi yaitu dengan menggunakan model A4 dan B4 yang ditunjukkan dengan Gambar 4.5. Tekanan yang dihasilkan model A1 tidak jauh berbeda dengan tekanan dengan model A4. Selain itu, model A1 menghasilkan tekanan tertinggi pada branch XB dan XC maka model yang dipilih yaitu model A1.



Gambar 4.5 Perbandingan 8 Variasi Model pada *Branch* XA.

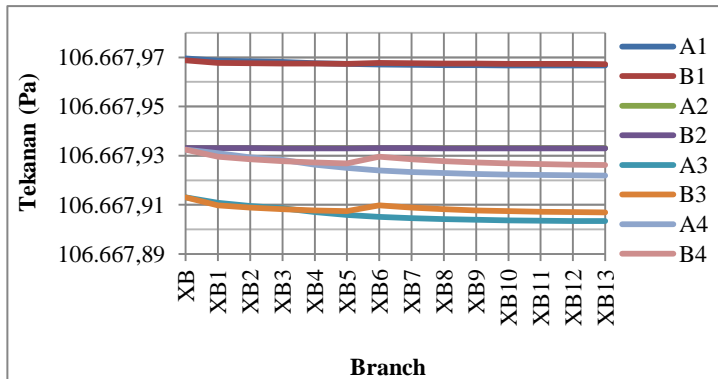


Gambar 4.6 Perbandingan Model A2 dan B2 pada *Branch* XA.

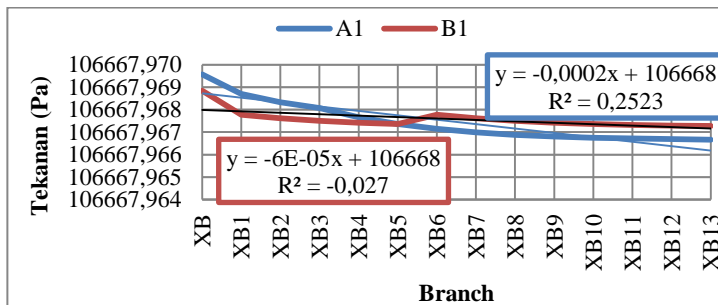
4.6 Hasil Perhitungan *Pressure Drop* di *Branch* XB

Dari hasil perhitungan pada branch XB dengan delapan variasi didapatkan bahwa tekanan tertinggi dengan menggunakan model A1 dan B1, yang ditunjukkan pada gambar 4.7. Model

yang dipilih adalah A1 karena model ini menghasilkan tekanan lebih tinggi dibandingkan model B1, yang ditunjukkan pada gambar 4.8.



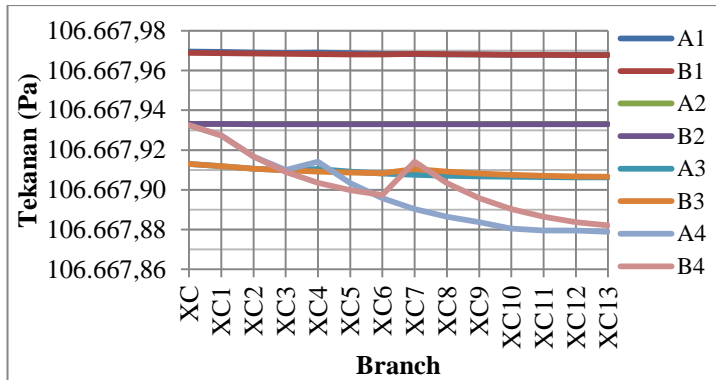
Gambar 4.7 Perbandingan 8 Variasi Model pada *Branch* XB



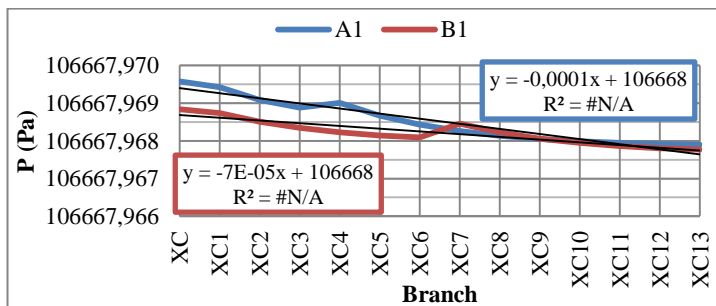
Gambar 4.8 Perbandingan Model A1 dan A2 pada *Branch* XB

4.7 Hasil Perhitungan *Pressure Drop* di *Branch* XC

Dari hasil perhitungan pada branch XC dengan enam variasi didapatkan bahwa tekanan tertinggi dengan menggunakan model A1 dan B1, yang ditunjukkan pada gambar 4.9. model yang dipilih adalah A1 karena model ini menghasilkan tekanan lebih tinggi dibandingkan model B1, yang ditunjukkan pada gambar 4.10.



Gambar 4.9 Perbandingan 8 Variasi Model pada *Branch XC*.



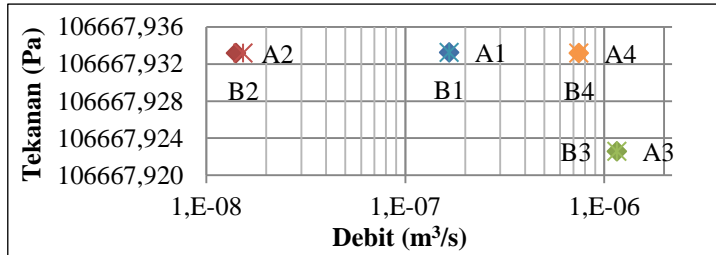
Gambar 4.10 Perbandingan Model A1 dan B1 pada *Branch XC*

4.8 Faktor yang Mempengaruhi *Pressure Drop* di *Branch XA*, *XB*, dan *XC*

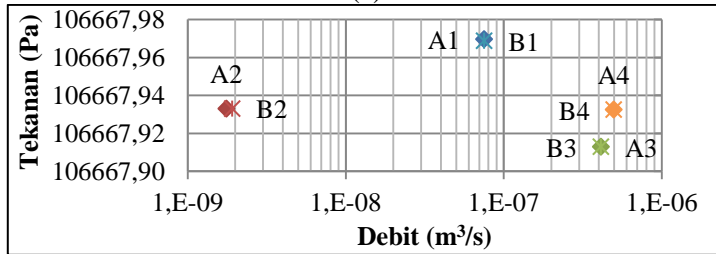
Hasil perhitungan *pressure drop* di *XA*, *XB*, dan *XC* yang ditunjukkan pada Gambar 4.5, 4.7, dan 4.9. *Pressure drop* di *XA* terkecil dihasilkan oleh model A1 dan B1 sedangkan *pressure drop* terbesar dihasilkan oleh model A3 dan B3. *Pressure drop* di *XB* dan *XC* terkecil dihasilkan oleh model A1 dan B1 sedangkan *pressure drop* terbesar dihasilkan oleh model A3 dan B3.

Faktor-faktor yang mempengaruhi *pressure drop* antara lain yaitu debit, panjang pipa, dan $\sum K$.

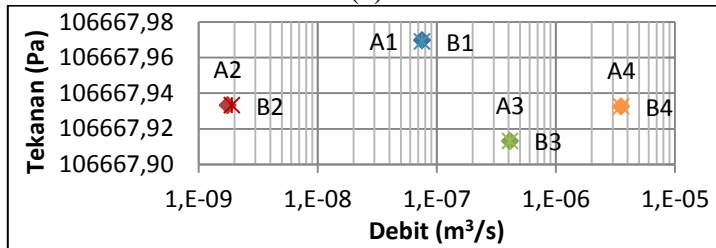
Hubungan antara debit dan tekanan di XA, XB, dan XC dengan delapan variasi model ditunjukkan pada Gambar 4.11. Debit ditampilkan dalam skala logaritmik .



(a)



(b)



(c)

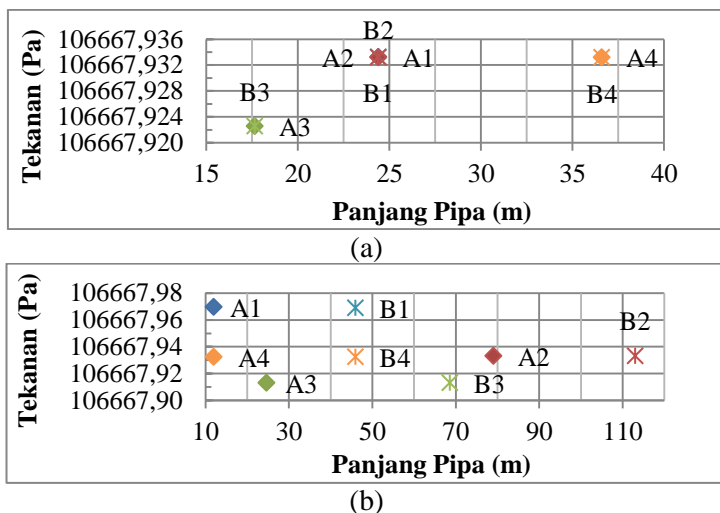
Gambar 4.11 Hubungan Antara Debit dengan Tekanan (a) di XA; (b) di XB; dan (c) di XC dengan 8 Variasi Model.

Pada XA, debit terkecil dihasilkan oleh model A2 yaitu sebesar $1,4130 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$. Sedangkan, debit terbesar dihasilkan oleh model A3 dan B3 yaitu sebesar $1,16045 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$. Hal ini karena pada model A2 dan B2, XA merupakan hasil percabangan

dari *branch* X. Percabangan ini kemudian dibagi menjadi *branch* XA, XB, dan XC. Sedangkan model A3 dan B3 merupakan hasil percabangan dari *branch* T.

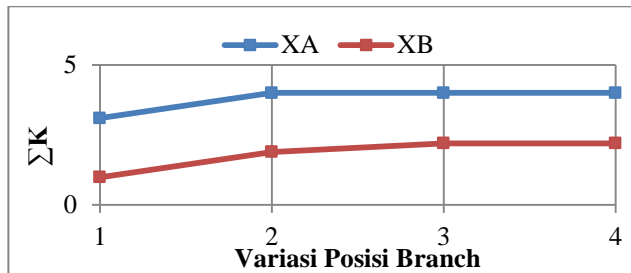
Pada XB dan XC, debit terkecil dihasilkan oleh model A2 yaitu $1,76237 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$. Sedangkan, debit terbesar pada XB dan XC dihasilkan oleh model A4 dan B4 yaitu masing-masing sebesar $4,97638 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ dan $3,53767 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$. Hal ini karena model A2 dan B2 merupakan hasil percabangan dari XA. Sedangkan model A4 dan B4 merupakan hasil percabangan dari *branch* T yang dibagi menjadi *branch* XA, XB, dan XC.

Hubungan antara panjang pipa dan tekanan di XA dan XB ditunjukkan pada Gambar 4.12. Panjang pipa pada XC sama pada semua variasi model. Panjang pipa terkecil dimiliki oleh model A4 dan B4 sedangkan panjang pipa terbesar dimiliki oleh model A3 dan B3. Walaupun *pressure drop* sebanding dengan panjang pipa, tekanan di XA dengan model A3 dan B3 tetap saja besar. Panjang pipa terkecil dimiliki oleh model A1 sedangkan panjang pipa terbesar dimiliki oleh B2.



Gambar 4.12 Perbandingan Antara Panjang Pipa dengan Tekanan di (a) XA; dan (b) XB dengan 8 Variasi Model.

$\sum K$ ditunjukkan pada Gambar 4.13. $\sum K$ di XA terkecil dihasilkan model A1 dan B1 yaitu 0,99. Sedangkan, $\sum K$ di XA terbesar dihasilkan model A3, B3, A4, dan B4 yaitu 2,20. $\sum K$ di XB terkecil dihasilkan model A1 dan B1 yaitu 3,10. Sedangkan, $\sum K$ di XA terbesar dihasilkan model A2, B2, A3, B3, A4, dan B4 yaitu 4,00.



Gambar 4.13 Perbandingan $\sum K$ di XA dan XB dengan 8 Variasi Model..

4.9 Pembahasan

Hasil pengukuran debit menunjukkan hasil yang fluktuatif, yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Besarnya debit tergantung pada proses dekomposisi. Proses dekomposisi untuk menghasilkan LFG dipengaruhi oleh sifat bahan mentah dan kondisi operasional selama reaksi *anaerob* seperti kelembaban, temperature, tingkat keasaman, kontur tanah, konsentrasi gas metana, oksigen, nutrisi, dan lain-lain. Keadaan cuaca pada saat penelitian adalah hujan pada hari pertama dan cerah pada hari kedua. Pada saat hujan maka ada penambahan kandungan air pada MSW sehingga meningkatkan produksi LFG.

Hasil pengukuran tekanan di RK (Rumah Kontrol) menunjukkan hasil yang fluktuatif, yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5. Tekanan tertinggi terjadi pada hari pertama sedangkan pada hari kedua tekanan menurun sangat besar di RK3. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor terbesar yaitu penggunaan pelanggan biogas. Pada hari kedua, aktivitas pemakaian biogas meningkat terutama pada jam 08:00.

Faktor lainnya, seperti kesalahan dalam pengukuran tekanan dengan menggunakan manometer. Kesalahan yang paling berakibat fatal yaitu kesalahan dalam pemasangan sehingga ada gas yang bocor. Namun, kesalahan dalam pemasangan sudah diminimalisir. Maka kemungkinan terbesar yaitu telah terjadi pertambahan *pressure drop* akibat penambahan pipa dan fitting.

Hasil pengukuran dan perhitungan menunjukkan *error* hasil perhitungan kurang dari 3 %, yang ditunjukkan pada Tabel 4.2. *error ini termasuk kecil sehingga masih sesuai dengan keadaan di lapangan. Error* hasil perhitungan terjadi karena tekanan di awal tidak diketahui. Padahal, tekanan pada titik sampel fluktuatif setiap jamnya tergantung dari penggunaan pelanggan biogas. Selain itu, fluida diasumsikan *steady* dan *incompressible*. Pipa dan *fitting* seragam, serta bentuk sambungan rumah seragam. Padahal di lapangan berbeda terutama jenis pipa dan fitting, serta model sambungan rumah.

Pemilihan Desain jaringan pipa pelanggan biogas *future* dilakukan dengan mencari model dengan *pressure drop* terkecil pada *branch* XA, XB, dan XC. Hasil perhitungan jaringan pipa dengan delapan variasi model pada *branch* XA yang ditunjukkan oleh Gambar 4.5. *Pressure drop* pada *branch* XA, XB, dan XC sangat kecil yaitu kurang dari 1 Pa. *Pressure drop* terkecil dihasilkan model B1 sedangkan terbesar dihasilkan oleh model A3. Pada *branch* XB, hasil perhitungan ditunjukkan oleh Gambar 4.8. *Pressure drop* terkecil dihasilkan model sedangkan terbesar dihasilkan oleh model A4. Pada *branch* XC, hasil perhitungan ditunjukkan oleh Gambar 4.10. *Pressure drop* terkecil dihasilkan model A1 sedangkan terbesar dihasilkan oleh model A4. Model yang paling sesuai dan menghasilkan *pressure drop* terkecil yaitu model A1.

Berdasarkan teori pada persamaan (2.10) maka faktor-faktor yang mempengaruhi *pressure drop*, yaitu debit; panjang pipa; diameter dalam pipa; dan fitting.

Pressure drop sebanding dengan debit. Debit ditunjukkan pada Gambar 4.12. *Pressure drop* di XA sesuai dengan teori dimana *pressure drop* terkecil dimiliki oleh model A1 dan B1.

Pressure drop sebanding dengan panjang pipa. Panjang pipa ditunjukkan pada Gambar 4.13. Namun, *pressure drop* di XA tidak sesuai dengan teori. *Pressure drop* terkecil dihasilkan oleh model A1 dan B1 padahal panjang pipa terkecil dimiliki oleh model A3 dan B3. Sedangkan di XA sesuai dengan teori, *pressure drop* terkecil dihasilkan oleh model A1. Tetapi, model B2 menghasilkan *pressure drop* yang lebih kecil dibandingkan model A3 dan B3. Hal ini dikarenakan ada faktor lain yang mempengaruhi *pressure drop* di XB selain faktor panjang pipa.

Pressure drop sebanding dengan $\sum K$. $\sum K$ ditunjukkan pada Gambar 4.14. $\sum K$ terkecil pada branch XA dan XB yaitu model A1. Sedangkan, $\sum K$ terbesar pada branch XA dan XB yaitu model A3, B3, A4, dan B4. Sesuai dengan teori, *pressure drop* terkecil pada model A1 yang memiliki $\sum K$ terkecil.

Dari penjelasan di atas didapatkan bahwa *pressure drop* di branch XA, XB, dan XC telah sesuai teori. Maka untuk mendapatkan *pressure drop* terkecil maka Desain jaringan pipa *future* direkayasa sehingga debit kecil, panjang pipa pendek, dan tidak memiliki banyak fitting. model A1 telah memenuhi kriteria di atas. Secara teori mungkin model A1 adalah model terbaik, namun kenyataan di lapangan tidak sama. Banyak faktor yang harus dipertimbangan dalam pemasangan jaringan pipa pelanggan biogas. Topografi tanah yang menurun menyebabkan permasalahan penyumbatan aliran biogas oleh kondensat. Kondensat akan berkumpul di titik-titik yang lebih rendah. Penanggulangan permasalahan ini dapat dilakukan dengan memasang *trap* di beberapa titik sehingga kondensat mudah untuk dikeluarkan. Untuk memudahkan *maintenance* maka jaringan pipa ini harus mudah diakses.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan maka kesimpulan yang dapat diambil yaitu sebagai berikut.

1. Hasil pengukuran pada RK1, RK2, dan RK3 yaitu 106668,72222 Pa; 106050,77778 Pa; dan 104316,72222 Pa. Hasil perhitungan jaringan pipa *existing* pada RK1, RK2, dan RK3 yaitu 106668,33284 Pa; 106668,68911 Pa; dan 106667,76888 Pa. *Error* hasil perhitungan kurang dari 3% dan *pressure drop* kurang dari 2 kPa. Jaringan pipa *existing* telah memenuhi syarat yaitu tekanan gauge LFG ke kompor lebih dari 1 kPa sehingga tidak diperlukan pembuatan Desain yang baru.
2. *Pressure drop* pada setiap *branch* di jaringan pipa *future* kurang dari 1 Pa. Jaringan pipa *future* dengan model terbaik yaitu model A1. Tekanan yang dihasilkan model A1 tertinggi dibandingkan model lainnya kecuali pada *branch* XA. Model A2 menghasilkan tekanan lebih baik dibandingkan model A1 pada *branch* XA.

5.2 Saran

Saran yang diberikan oleh peneliti untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut.

1. Perlu penelitian terhadap *properties* biogas sehingga data *properties* lebih akurat.
2. Perlu pengukuran pada titik awal (0) sehingga diperoleh hasil yang lebih akurat.
3. Perlu pengukuran tekanan pada saat valve ditutup sehingga ada data pembanding.
4. Perlu pengukuran dengan rentang dan waktu pengambilan yang lebih beragam dan lebih lama sehingga data debit dan tekanan lebih bervariasi serta mampu mengetahui *trendline* dari biogas lebih baik.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Sukarni, "Exploring the potential of municipal solid waste (MSW) as solid fuel for energy generation: Case study in the Malang City, Indonesia," vol. 20003, p. 20003, 2016.
- [2] R. Sumianto; A. S., Danar; Lukiawan, "Kebutuhan Standar dalam Mendukung Pengembangan Sumber Energi Baru (Biogas)," *Standardisasi*, vol. 15, no. 1, pp. 9–19, 2013.
- [3] S. Darmawati, "Kinerja Penimbunan Sampah Sistem Semi Aerobik Lanfill sebagai Bahan Masukan Penyusunan Standar Landfill," *Standardisasi*, vol. 15, no. 1, pp. 28–35, 2013.
- [4] Z. Septiropa, A. H. S. Fauzan, and M. Zainuddin, "Optimasi Sudut Ujung Pipa Penangkapan Gas Metana," *J. Tek. Ind.*, vol. 12, no. 2, pp. 141–146, 2011.
- [5] A. Suko, C. Meidiana, and M. Anggraeni, "The Effect of Alternative Energy Utilization from Landfill on Methane Emission Reduction," vol. 2, pp. 30–36, 2015.
- [6] C. Grima-Olmedo, A. Ramírez-Gómez, and R. Alcalde-Cartagena, "Energetic performance of landfill and digester biogas in a domestic cooker," *Appl. Energy*, vol. 134, pp. 301–308, 2014.
- [7] R. W. Fox and A. T. McDonald, *Introduction to Fluid Mechanics*, 4th ed. USA: John Wiley & Sons, 1994.
- [8] W. R. Iswara and S. Sanjaya, "Pengaruh Pressure Drop terhadap Efektivitas Heat Exchanger Dengan Menggunakan Simulator Aspen Hysys V . 7 . 3," pp. 1–6, 2015.
- [9] DKP Kota Malang, "Sampah Sebagai Energi Baru Terbarukan," in *Seminar Nasional Energi Terbarukan*, 2014, pp. 1–39.
- [10] A. S. Teodorita *et al.*, *Bigas Handbook*. 2008.
- [11] A.-C. Liu, C.-Y. Chou, L.-L. Chen, and C.-H. Kuo,

- “Bacterial community dynamics in a swine wastewater anaerobic reactor revealed by 16S rDNA sequence analysis,” *J. Biotechnol.*, vol. 194, pp. 124–31, Jan. 2015.
- [12] Anonim, “Solid Waste Landfill.” [Online]. Available: web.mit.edu/urbanupgrading/urbanenvironment/sectors/solid-waste-landfills.html. [Accessed: 12-Mar-2015].
- [13] Y. R. Silvia, “evaluasi metode pengelolaan sampah untuk umur layan di TPA putri cempo,” *J. Penelit.*, vol. 12, no. 2, pp. 41–51, 2011.
- [14] Us EPA, “LFG Energy Project Development Handbook,” *Energy*, no. February, pp. 1–17, 2009.
- [15] N. J. Themelis and P. A. Ulloa, “Methane generation in landfills,” *Renew. Energy*, vol. 32, no. 7, pp. 1243–1257, 2007.
- [16] N. K. Caturwati, P. Mekro, H. Heri, S. Agung, and M. Aminullah, “Uji Kualitas Biogas Hasil Landfill Pada Tempat Pembuangan Akhir Bagedung,” vol. 12, no. 1, pp. 157–164, 2016.
- [17] F. Monnet, “An Introduction to Anaerobic Digestion of Organic Waste,” 2004. .
- [18] J. P. Holman, *Thermodynamics*, 3rd ed. McGraw-Hill, 1985.
- [19] F. White, *Fluid Mechanics*. 2010.
- [20] Henry Liu, *Pipeline Engineering*. United States of America: CRC Press LLC, 2003.
- [21] S. E. Menon, *Gas Pipeline Hydraulics*. New York: CRC Press, 2005.
- [22] U. Desideri, F. Di Maria, D. Leonardi, and S. Proietti, “Sanitary landfill energetic potential analysis: A real case study,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 44, no. 12, pp. 1969–1981, 2003.
- [23] E. Durmusoglu, M. Y. Corapcioglu, and K. Tuncay, “Landfill settlement with decomposition and gas

- generation,” *J. Environ. Eng.*, vol. 131, no. 9, pp. 1311–1321, 2005.
- [24] E. Ryckebosch, M. Drouillon, and H. Vervaeren, “Techniques for transformation of biogas to biomethane,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, no. 5, pp. 1633–1645, 2011.
- [25] A. P. Munson, Bruce R.; Okiishi, Theodore H.; Huebsch, Wade W.; Rothmayer, *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 7th ed. United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 2013.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

LAMPIRAN A

HASIL PENGUKURAN DEBIT

Tabel A.1 Hasil Pengukuran Debit LFG dalam m³/h.

Pukul	Hari Ke-1	Hari Ke-2
7:00		
8:00		1,75245
9:00	1,54334	1,68570
10:00	1,18547	1,62780
11:00	1,48267	1,62115
12:00	1,20525	1,38180
13:00	1,49585	1,44160
14:00	1,54385	1,34680
15:00	1,29845	1,33345
16:00	1,81715	
17:00	1,36960	
18:00	1,49930	
19:00	1,71640	
Avg i	1,46885	1,52384
Stdv i	0,19603	0,16616
Q (m ³ /h)	1,496346 ± 0,00005	
Q (m ³ /s)	4,14446 × 10 ⁻⁴ ± 5,03574 × 10 ⁻⁵	

LAMPIRAN B

HASIL PENGUKURAN TEKANAN

Hasil pengukuran tekanan di Rumah Kontrol

Tabel B.1 Pengukuran Tekanan di Rumah Kontrol dalam mm.H₂O.

Pukul	Day 1			Day 2		
	RK1	RK2	RK3	RK1	RK2	RK3
7:00				240	250	200
8:00				240	160	140
9:00	690	240	310	370	280	160
10:00				560	550	200
11:00	650	750	630	630	590	250
12:00				650	620	300
13:00	640	690	460	610	600	260
14:00				610	470	270
15:00	640	540	240	490	450	250
16:00						
17:00	500	400	120			
18:00						
19:00	490	520	550			
Avg	601,67	523,33	385,00	488,89	441,11	225,56
Stdv	84,72	187,05	194,81	165,19	170,91	53,41
Max	690	750	630	650	620	300
Min	490	240	120	240	160	140

Tabel B.2 Tekanan Gauge LFG di Rumah Kontrol dalam Pa

Pukul	Day 1			Day 2		
	RK1	RK2	RK3	RK1	RK2	RK3
7:00				2,352	2,450	1,960
8:00				2,352	1,568	1,372
9:00	6,762	2,352	3,038	3,626	2,744	1,568
10:00				5,488	5,390	1,960
11:00	6,370	7,350	6,174	6,174	5,782	2,450
12:00				6,370	6,076	2,940
13:00	6,272	6,762	4,508	5,978	5,880	2,548
14:00				5,978	4,606	2,646
15:00	6,272	5,292	2,352	4,802	4,410	2,450
16:00						
17:00	4,900	3,920	1,176			
18:00						
19:00	4,802	5,096	5,390			
Avg	5,896	5,129	3,773	4,791	4,323	2,210
Stdv	0,830	1,833	1,909	1,619	1,675	0,523
Max	6,762	7,350	6,174	6,370	6,076	2,940
Min	4,802	2,352	1,176	2,352	1,568	1,372

Tabel B.3 Tekanan Absolut LFG di Rumah Kontrol dalam kPa.

Pukul	Day 1			Day 2		
	RK1	RK2	RK3	RK1	RK2	RK3
7:00	108,087	103,677	104,363	103,677	103,775	103,285
8:00				103,677	102,893	102,697
9:00				104,951	104,069	102,893
10:00				106,813	106,715	103,285
11:00	107,695	108,675	107,499	107,499	107,107	103,775
12:00	107,597	108,087	105,833	107,695	107,401	104,265
13:00				107,303	107,205	103,873
14:00				107,303	105,931	103,971
15:00				106,127	105,735	103,775
16:00	106,225	105,245	102,501			
17:00						
18:00						
19:00	106,127	106,421	106,715	106,116	105,648	103,535
Avg	107,221	106,454	105,098			
Stdv	0,830	1,833	1,909			
Max	108,087	108,675	107,499			
Min	106,127	103,677	102,501	103,677	102,893	102,697

Tabel B.4 Tekanan di Titik Sampel.

	P (kPa)	P (Pa)
RK1	106,669	106668,72222
RK2	106,051	106050,777778
RK3	104,317	104316,722222

LAMPIRAN C

PERHITUNGAN *PROPERTIES* LFG

C.1 Densitas

Densitas LFG dirumuskan dengan persamaan (1) dan (2). Hasil perhitungan dengan densitas CH₄ dan CO₂ dari White (2011) dan Okiishi (2013), yang ditunjukkan pada Tabel C.2. densitas dari berbagai posisi ditunjukkan pada tabel C.2.

$$\rho_m = \sum y\rho \quad (1)$$

$$\rho_g = \rho_g^0 \frac{P}{P_g^0} \quad (2)$$

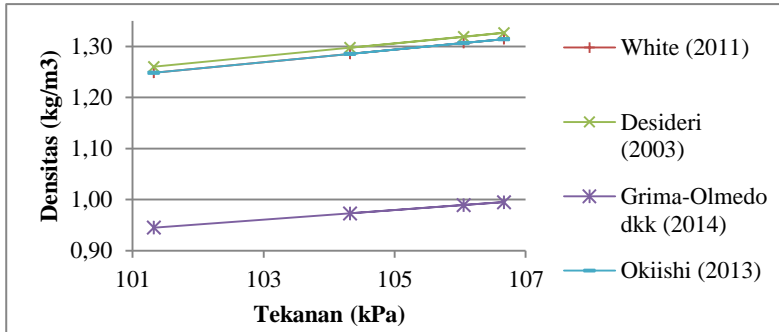
Tabel C.1 Perhitungan Densitas Gas LFG dengan Densitas CH₄ dan CO₂ dari White (2011) dan Okiishi (2013).

Component	y	ρ	y ρ
CH ₄	0,5	0,667	0,3335
CO ₂	0,5	1,83	0,915
ρ_{LFG}			1,2485

Tabel C.2 Densitas LFG pada Tekanan di 1 atm, RK1, RK2, dan RK3 dengan Densitas Referensi dari Tabel C.1.

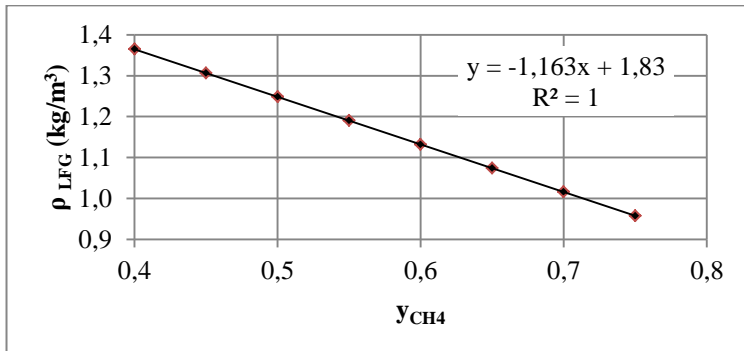
Posisi	P (kPa)	ρ (kg/m ³)
Base	101,325	1,249
RK1	106,669	1,314
RK2	106,051	1,307
RK3	104,317	1,285

Densitas LFG Grima-Olmedo dkk (2014) memiliki selisih yang besar jika dibandingkan dengan densitas LFG dari Desideri (2003), Okiishi (2013), dan White (2014).



Gambar C.1 Perbandingan Densitas LFG dari Berbagai Referensi.

Densitas LFG pada mole fraction 0,40-0,75 ditunjukkan dengan Gambar C-2. Semakin besar CH_4 dalam LFG maka semakin kecil densitas LFG.



Gambar C.2 Perbandingan Densitas LFG pada Mole Fraction 0,40-0,75 dari Berbagai Referensi.

C.2 *Spesific Gravity*

Spesific gravity LFG dirumuskan dengan persamaan (3). Hasil perhitungan ditunjukkan sebagai berikut.

$$M_g = \sum yM \quad (3)$$

Tabel C.3 Hasil Perhitungan M

Component	y	M	y*M
CH4	0,5	16,04	8,02
CO2	0,5	44,01	22,005
	1	M _{LFG}	30,025

$$G = \frac{M_g}{29} = \frac{30,025}{29} = 1,0353448\%$$

C.3 Viscositas

Viscositas LFG dirumuskan dengan persamaan (4) dan (5). Hasil perhitungan dengan berbagai nilai viscositas referensi ditunjukkan pada Tabel C.4, Tabel C.6, dan Tabel C.8.

$$\mu_m = \frac{\mu_1 y_1 \sqrt{Mw_1} + \mu_2 y_2 \sqrt{Mw_2}}{y_1 \sqrt{Mw_1} + y_2 \sqrt{Mw_2}} \quad (4)$$

$$\frac{\mu}{\mu_0} \approx \left(\frac{T}{T_0} \right)^n \quad (5)$$

Dimana: n = power-law exponent. n CH₄ = 0,87 dan n CO₂ = 0,79

a. Reid (1987)

$$\Phi = 24^\circ C = 297K$$

$$\mu_{CH_4} = (1,935 + 0,0305\Phi) \times 10^{-6} \quad (6a)$$

$$\mu_{CO_2} = (-30,212 + 0,256\Phi - 0,00035\Phi^2) \times 10^{-6} \quad (6b)$$

Tabel C.4 Hasil Perhitungan Viscositas LFG

Component	y	M	M ^{1/2}	yM ^{1/2}	μ	μyM ^{1/3}
CH4	0,5	16,04	4,005	2,0025	1,099E-05	2,201E-05
CO2	0,5	44,01	6,634	3,3170	1,495E-05	4,958E-05
	1			5		7,159E-05

$$\mu_{\text{LFG}} = 1,346 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$$

b. Bird dkk (2002)

Tabel C.5 Viskositas CH₄ dan CO₂[1]

	T ₀	μ ₀	T	μ
CH4	293	1,09 × 10 ⁻⁵	297	1,103 × 10 ⁻⁵
CO2	293	1,46 × 10 ⁻⁵	297	1,476 × 10 ⁻⁵

Tabel C.6 Hasil Perhitungan Viscositas LFG

Component	y	M	M ^{1/2}	yM ^{1/2}	μ	μyM ^{1/3}
CH4	0,5	16,04	4,005	2,0025	1,103 × 10 ⁻⁵	2,209 × 10 ⁻⁵
CO2	0,5	44,01	6,634	3,3170	1,476 × 10 ⁻⁵	4,895 × 10 ⁻⁵
	1			5		7,104 × 10 ⁻⁵

$$\mu_{\text{LFG}} = 1,335 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$$

c. Okiishi (2013)

Tabel C.7 Viskositas CH₄ dan CO₂[2]

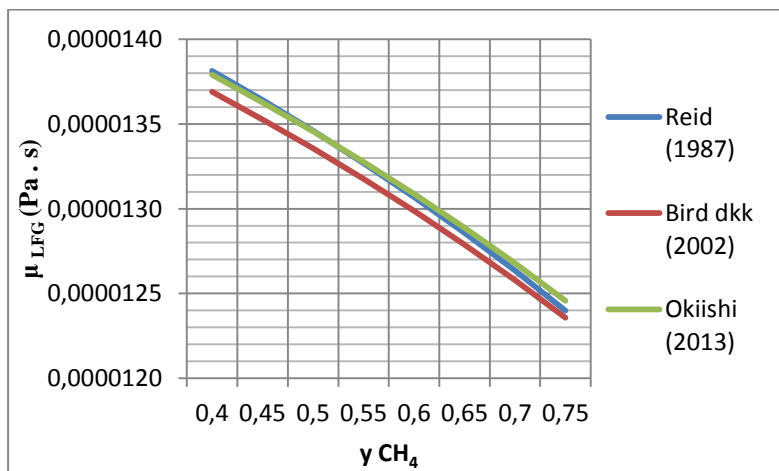
Component	T ₀	μ ₀	T	μ
CH4	293	1,10 × 10 ⁻⁵	297	1,113 × 10 ⁻⁵
CO2	293	1,47 × 10 ⁻⁵	297	1,486 × 10 ⁻⁵

Tabel C.8 Hasil Perhitungan Viscositas LFG

Component	y	M	M ^{1/2}	yM ^{1/2}	μ	μyM ^{1/3}
CH4	0,5	16,04	4,005	2,003	1,113 × 10 ⁻⁵	2,229 × 10 ⁻⁵
CO2	0,5	44,01	6,634	3,317	1,486 × 10 ⁻⁵	4,929 × 10 ⁻⁵
	1			5		7,157 × 10 ⁻⁵

$$\mu_{\text{LFG}} = 1,346 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$$

Hasil perhitungan viskositas pada komposisi metana 0,4 – 0,75 dengan berbagai referensi yang ditunjukkan Gambar C.3. Viskositas berbanding terbalik dengan mole fraction metan. Semakin besar kandungan metan maka semakin kecil viskositas LFG.



Gambar C.3 Viskositas LFG dengan Variasi y antara 0,4-0,75 pada 24 °C dalam Berbagai Referensi.

C.4 *Compressibility Factor (Z)*

- Standing Kantz

Compressibility factor LFG didapatkan dengan menggunakan grafik Standing Kantz. Dimana T_r dan P_r dirumuskan pada persamaan (7) dan (8).

$$T_c = \sum y T_c \quad (7)$$

$$P_c = \sum y P_c \quad (8)$$

LFG mengandung metana dan karbondioksida sehingga perlu dilakukan koreksi yang dirumuskan dengan persamaan (9).

$$\varepsilon = 120(A^{0,9} - A^{1,6}) + 15(B^{0,5} - B^{4,0}) \quad (9)$$

Maka persamaan (7) dan (8) menjadi persamaan (10) dan (11).

$$T'_c = T_c - \varepsilon \quad (10)$$

$$P'_c = \frac{P_c \times T'_c}{T_c + B(1 - B)\varepsilon} \quad (11)$$

Persamaan (12) dan (13) digunakan untuk mencari Z.

$$T_r = \frac{T}{T'_c} \quad (12)$$

$$P_r = \frac{P}{P'_c} \quad (13)$$

Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel C.9 dan Tabel C.10.

$\varepsilon = 24,72$; dimana: $A = 0,5$ dan $B = 0$

Tabel C.9 Hasil Perhitungan P_c dan T_c

Component	y	T_c (K)	y T_c	P_c (bar)	y P_c
CH4	0,5	516	258	63,8	31,9
CO2	0,5	304	152	73,9	36,95
	1		410		68,85

Tabel C.10 Hasil Perhitungan T_r dan P_r .

	P	P'_c	P_r	T	T'_c	T_r
RK1	1,07	64,7	0,0165	297	385,2788	0,8
RK2	1,07	64,7	0,0165	297	385,2788	0,8
RK3	1,07	64,7	0,0165	297	385,2788	0,8

Nilai P_r sangat kecil dan Grafik Standing Kantz tidak dapat digunakan. Dari grafik Nelson-Obert (Holman, 1985), nilai Z pada semua titik yaitu 0,985.

- Metode CNGA

Perhitungan Z dengan metode CNGA dirumuskan dengan persamaan (14).

$$Z = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{P_{avg} 34440 (10)^{1,785G}}{T_f^{3,825}} \right) \right]} \quad (14)$$

dimana: Pavg=Pg dalam MPa

Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel C.11. Z mendekati nilai 1 atau mendekati nilai Z pada fluida yang tidak mampat.

Tabel C.11 Hasil Perhitungan Z dengan Metode CNGA.

	P (kPa)	Pavg (bar)	S	Tf (K)	Z
RK1	106,669	0,05344	1,035	297	0,999555
RK2	106,051	0,04726	1,035	297	0,999606
RK3	104,317	0,02992	1,035	297	0,999751

$Z_{LFG} \approx 1,000$

LAMPIRAN D

HASIL PERHITUNGAN JARINGAN PIPA *EXISTING*

Tabel D.1 Hasil Perhitungan pada Jaringan Pipa *Existing Branch* 0 hingga *Branch Y*.

(i,j)	P	Q	p	m	n	
0	1,06672093826205E+05	4,16E-04	1,32649	5,51E-04	2,397E-05	
A	A	1,06668722222222E+05	1,20E-04	1,32645	1,59E-04	6,892E-06
	A1	1,06668332840105E+05	4,78E-05	1,32645	6,34E-05	2,758E-06
	A2	1,06668332840105E+05	4,78E-05	1,32645	6,34E-05	2,758E-06
	A3	1,06668247029463E+05	1,48E-05	1,32644	1,97E-05	8,554E-07
	A4	1,06668213395461E+05	4,69E-06	1,32644	6,22E-06	2,705E-07
	A5	1,06668382209066E+05	3,55E-05	1,32645	4,72E-05	2,05E-06
B	B	1,06668860645673E+05	2,96E-04	1,32645	3,93E-04	1,71E-05
	B1	1,06668859385721E+05	3,44E-05	1,32645	4,56E-05	1,98E-06
	B2	1,06667444603102E+05	7,01E-06	1,32643	9,30E-06	4,04E-07
	B3	1,06667348686471E+05	7,01E-06	1,32643	9,30E-06	4,04E-07
	B4	1,06667348712966E+05	7,01E-06	1,32643	9,30E-06	4,04E-07
	B5	1,06667143251420E+05	5,93E-05	1,32643	7,86E-05	3,42E-06
B6	1,06667145142970E+05	5,93E-05	1,32643	7,86E-05	3,42E-06	
C	C	1,06668798282690E+05	2,75E-05	1,32645	3,65E-05	1,59E-06
	C1	1,06668397200178E+05	1,10E-05	1,32645	1,46E-05	6,35E-07
	C2	1,06668377101017E+05	3,19E-06	1,32645	4,23E-06	1,84E-07
	C3	1,06668371253771E+05	9,25E-07	1,32645	1,23E-06	5,33E-08
	C4	1,06668369839933E+05	3,78E-07	1,32645	5,01E-07	2,18E-08
	C5	1,06668245493117E+05	1,20E-05	1,32644	1,59E-05	6,92E-07
D	D	1,06668702391550E+05	2,69E-05	1,32645	3,57E-05	1,55E-06
	D1	1,06668395274423E+05	1,81E-05	1,32645	2,40E-05	1,04E-06
	D2	1,06668395816942E+05	2,34E-06	1,32645	3,10E-06	1,35E-07
	D3	1,06668390489971E+05	7,39E-07	1,32645	9,80E-07	4,26E-08
	D4	1,06668349671231E+05	4,35E-06	1,32645	5,77E-06	2,51E-07
	D5	1,06668339765689E+05	1,38E-06	1,32645	1,82E-06	7,93E-08
E	E	1,06668600109122E+05	2,11E-05	1,32645	2,79E-05	1,21E-06
	E1	1,06668360385049E+05	1,60E-05	1,32645	2,12E-05	9,22E-07
	E2	1,06668320070955E+05	3,84E-06	1,32645	5,10E-06	2,22E-07
	E3	1,06668310333662E+05	9,23E-07	1,32645	1,22E-06	5,32E-08

Tabel D.1 Terusan.

(i,j)		P	Q	ρ	\dot{m}	\dot{n}
	E4	1,06668307993981E+05	2,22E-07	1,32645	2,94E-07	1,28E-08
	E5	1,06668307487961E+05	7,01E-08	1,32645	9,30E-08	4,05E-09
F	F	1,06668530753738E+05	1,18E-05	1,32645	1,57E-05	6,83E-07
	F1	1,06668396043865E+05	9,00E-06	1,32645	1,19E-05	5,19E-07
	F2	1,06668373300651E+05	2,16E-06	1,32645	2,87E-06	1,25E-07
	F3	1,06668367823529E+05	5,19E-07	1,32645	6,89E-07	3,00E-08
	F4	1,06668366638587E+05	1,64E-07	1,32645	2,18E-07	9,47E-09
G	G	1,06668507263849E+05	2,03E-05	1,32645	2,70E-05	1,17E-06
	G1	1,06668275641671E+05	1,55E-05	1,32644	2,05E-05	8,91E-07
	G2	1,06668223163150E+05	2,75E-06	1,32644	3,65E-06	1,59E-07
	G3	1,06668216375424E+05	1,62E-06	1,32644	2,15E-06	9,35E-08
	G4	1,06668212295804E+05	3,64E-07	1,32644	4,83E-07	2,10E-08
	G5	1,06668211739275E+05	1,49E-07	1,32644	1,97E-07	8,57E-09
H	H	1,06668429976640E+05	1,74E-05	1,32645	2,31E-05	1,00E-06
	H1	1,06668177507728E+05	1,08E-05	1,32644	1,43E-05	6,23E-07
	H2	1,06668129261330E+05	4,70E-06	1,32644	6,23E-06	2,71E-07
	H3	1,0666811983366E+05	9,59E-07	1,32644	1,27E-06	5,53E-08
	H4	1,06668111173619E+05	7,67E-07	1,32644	1,02E-06	4,42E-08
	H5	1,06668108746648E+05	1,92E-07	1,32644	2,54E-07	1,11E-08
Ia	Ia	1,06668366677522E+05	2,24E-06	1,32645	2,97E-06	1,29E-07
	Ia1	1,06668334237180E+05	1,39E-06	1,32645	1,84E-06	8,01E-08
	Ia2	1,06668328485493E+05	1,55E-07	1,32645	2,06E-07	8,96E-09
	Ia3	1,06668328118744E+05	1,18E-08	1,32645	1,57E-08	6,80E-10
	Ia4	1,06668327955414E+05	1,63E-08	1,32645	2,16E-08	9,39E-10
	Ia5	1,06668327994148E+05	2,10E-08	1,32645	2,79E-08	1,21E-09
	Ia6	1,06668322679743E+05	4,01E-07	1,32645	5,32E-07	2,31E-08
	Ia7	1,06668321765227E+05	1,27E-07	1,32645	1,68E-07	7,31E-09
Ib	Ib	1,06668365486946E+05	2,16E-05	1,32645	2,86E-05	1,24E-06
	Ib1	1,06668050933252E+05	8,64E-06	1,32644	1,15E-05	4,98E-07
	Ib2	1,06668037791713E+05	3,53E-06	1,32644	4,68E-06	2,03E-07
	Ib3	1,06668030215997E+05	7,16E-06	1,32644	9,49E-06	4,13E-07
	Ib4	1,06668012236569E+05	1,61E-06	1,32644	2,13E-06	9,27E-08
	Ib5	1,06668009779077E+05	6,56E-07	1,32644	8,70E-07	3,78E-08

Tabel D.1 Terusan.

(i,j)		P	Q	ρ	\bar{m}	\bar{n}
J	J	1,06668249677326E+05	1,35E-05	1,32644	1,79E-05	7,80E-07
	J1	1,06668096538644E+05	9,61E-06	1,32644	1,27E-05	5,54E-07
	J2	1,06668078720773E+05	2,98E-06	1,32644	3,95E-06	1,72E-07
	J3	1,06668071168580E+05	7,16E-07	1,32644	9,50E-07	4,13E-08
	J4	1,06668069535515E+05	2,26E-07	1,32644	3,00E-07	1,31E-08
K	K	1,06668198548873E+05	8,12E-06	1,32644	1,08E-05	4,68E-07
	K1	1,06668104913472E+05	1,18E-06	1,32644	1,56E-06	6,79E-08
	K2	1,06668109434863E+05	4,64E-07	1,32644	6,16E-07	2,68E-08
	K3	1,06668104913472E+05	1,18E-06	1,32644	1,56E-06	6,79E-08
	K4	1,06668090797140E+05	2,01E-06	1,32644	2,66E-06	1,16E-07
	K5	1,06668083995120E+05	1,13E-06	1,32644	1,50E-06	6,50E-08
	K6	1,06668081927274E+05	3,27E-07	1,32644	4,33E-07	1,88E-08
	K7	1,06668081427564E+05	1,33E-07	1,32644	1,77E-07	7,69E-09
L	L	1,06668178641320E+05	7,09E-06	1,32644	9,40E-06	4,09E-07
	L1	1,06668098617349E+05	4,90E-06	1,32644	6,50E-06	2,82E-07
	L2	1,06668085633776E+05	1,05E-06	1,32644	1,39E-06	6,03E-08
	L3	1,06668085292224E+05	8,70E-07	1,32644	1,15E-06	5,02E-08
	L4	1,06668083308351E+05	2,75E-07	1,32644	3,65E-07	1,59E-08
M	M	1,06668162339992E+05	7,62E-06	1,32644	1,01E-05	4,40E-07
	M1	1,06668079902796E+05	1,83E-06	1,32644	2,43E-06	1,06E-07
	M2	1,06668060539125E+05	3,26E-06	1,32644	4,33E-06	1,88E-07
	M3	1,06668052395771E+05	2,02E-06	1,32644	2,68E-06	1,17E-07
	M4	1,06668045997368E+05	5,06E-07	1,32644	6,71E-07	2,92E-08
N	N	1,06668141856973E+05	9,73E-06	1,32644	1,29E-05	5,61E-07
	N1	1,06668008977132E+05	5,70E-06	1,32644	7,56E-06	3,29E-07
	N2	1,06667982820644E+05	1,46E-06	1,32644	1,94E-06	8,43E-08
	N3	1,06667979116523E+05	3,51E-07	1,32644	4,66E-07	2,02E-08
	N4	1,06667978315573E+05	1,11E-07	1,32644	1,47E-07	6,40E-09
	N5	1,06667985426308E+05	2,11E-06	1,32644	2,79E-06	1,22E-07
O	O	1,06668104357866E+05	4,62E-06	1,32644	6,13E-06	2,66E-07
	O1	1,06668051895047E+05	3,51E-06	1,32644	4,65E-06	2,02E-07
	O2	1,06668043069926E+05	7,88E-07	1,32644	1,05E-06	4,54E-08
	O3	1,06668041607667E+05	2,44E-07	1,32644	3,24E-07	1,41E-08
	O4	1,06668040988217E+05	5,87E-08	1,32644	7,79E-08	3,39E-09
	O5	1,06668040839073E+05	1,44E-08	1,32644	1,91E-08	8,31E-10

Tabel D.1 Terusan.

(i,j)		P	Q	ρ	\dot{m}	\dot{n}
	O6	1,06668040798282E+05	3,16E-09	1,32644	4,19E-09	1,82E-10
	O7	1,06668040790272E+05	7,59E-10	1,32644	1,01E-09	4,38E-11
	O8	1,06668040788540E+05	2,40E-10	1,32644	3,18E-10	1,38E-11
P	P	1,06668052319444E+05	9,56E-06	1,32644	1,27E-05	5,51E-07
	P1	1,06667892007881E+05	2,30E-06	1,32644	3,05E-06	1,32E-07
	P2	1,06667867886155E+05	9,83E-07	1,32644	1,30E-06	5,67E-08
	P3	1,06667856738712E+05	1,24E-06	1,32644	1,65E-06	7,18E-08
	P4	1,06667854564862E+05	3,61E-07	1,32644	4,78E-07	2,08E-08
	P5	1,06667854039550E+05	1,47E-07	1,32644	1,95E-07	8,49E-09
	P6	1,06667854918219E+05	1,36E-06	1,32644	1,80E-06	7,83E-08
	P7	1,06667874338273E+05	1,27E-06	1,32644	1,68E-06	7,32E-08
	P8	1,06667872491793E+05	5,18E-07	1,32644	6,87E-07	2,99E-08
Q	Q	1,06667996575727E+05	4,60E-06	1,32644	6,10E-06	2,65E-07
	Q1	1,06667945139617E+05	2,00E-06	1,32644	2,66E-06	1,16E-07
	Q2	1,06667937388870E+05	3,60E-06	1,32644	4,77E-06	2,08E-07
	Q3	1,06667931896700E+05	1,47E-06	1,32644	1,95E-06	8,47E-08
	Q4	1,06667925181224E+05	1,27E-06	1,32644	1,68E-06	7,31E-08
R	R	1,06667996575727E+05	4,60E-06	1,32644	6,10E-06	2,65E-07
	R1	1,06667936806763E+05	2,48E-06	1,32644	3,29E-06	1,43E-07
	R2	1,06667933017481E+05	1,01E-06	1,32644	1,34E-06	5,84E-08
	R3	1,06667931986427E+05	7,85E-07	1,32644	1,04E-06	4,53E-08
	R4	1,06667930546886E+05	2,27E-07	1,32644	3,02E-07	1,31E-08
	R5	1,06667930120652E+05	7,43E-08	1,32644	9,85E-08	4,28E-09
	R6	1,06667929885498E+05	1,86E-08	1,32644	2,46E-08	1,07E-09
S	S	1,06667995081294E+05	4,39E-06	1,32644	5,83E-06	2,53E-07
	S1	1,06667947602783E+05	1,06E-06	1,32644	1,40E-06	6,09E-08
	S2	1,06667945301410E+05	1,18E-06	1,32644	1,57E-06	6,83E-08
	S3	1,06667943490641E+05	4,84E-07	1,32644	6,42E-07	2,79E-08
	S4	1,06667930710051E+05	1,67E-06	1,32644	2,21E-06	9,62E-08
T	T	1,06667951849051E+05	3,99E-05	1,32644	5,29E-05	2,30E-06
	T1	1,06667863974125E+05	8,21E-06	1,32644	1,09E-05	4,74E-07
	T2	1,06667848953840E+05	2,38E-06	1,32644	3,16E-06	1,37E-07
	T3	1,06667844588048E+05	6,90E-07	1,32644	9,16E-07	3,98E-08
	T4	1,06667843321452E+05	2,00E-07	1,32644	2,65E-07	1,15E-08
	T5	1,06667842954187E+05	5,80E-08	1,32644	7,70E-08	3,35E-09

Tabel D.1 Terusan.

(i,j)		P	Q	ρ	\bar{m}	\bar{n}
	T6	1,06667842847711E+05	1,68E-08	1,32644	2,23E-08	9,70E-10
	T7	1,06667842821988E+05	6,87E-09	1,32644	9,11E-09	3,96E-10
V	V	1,06667933361329E+05	8,98E-07	1,32644	1,19E-06	5,18E-08
	V1	1,06667923205838E+05	5,65E-07	1,32644	7,49E-07	3,26E-08
	V2	1,06667922342410E+05	2,31E-07	1,32644	3,06E-07	1,33E-08
	V3	1,06667923154245E+05	7,80E-08	1,32644	1,03E-07	4,50E-09
	V4	1,06667922976280E+05	2,47E-08	1,32644	3,27E-08	1,42E-09
W	W	1,06667930291887E+05	1,30E-06	1,32644	1,73E-06	7,51E-08
	W1	1,06667915510910E+05	9,89E-07	1,32644	1,31E-06	5,70E-08
	W2	1,06667913020844E+05	2,22E-07	1,32644	2,95E-07	1,28E-08
	W3	1,06667912681204E+05	9,07E-08	1,32644	1,20E-07	5,23E-09
X	X	1,06667921821188E+05	1,80E-06	1,32644	2,39E-06	1,04E-07
	X1	1,06667908453757E+05	4,32E-07	1,32644	5,73E-07	2,49E-08
	X2	1,06667907739716E+05	9,71E-07	1,32644	1,29E-06	5,60E-08
	X3	1,06667905958640E+05	2,81E-07	1,32644	3,73E-07	1,62E-08
	X4	1,06667905442150E+05	8,16E-08	1,32644	1,08E-07	4,71E-09
	X5	1,06667905292407E+05	2,37E-08	1,32644	3,14E-08	1,36E-09
	X6	1,06667905256232E+05	9,66E-09	1,32644	1,28E-08	5,57E-10
Y	Y	1,06667921821188E+05	2,36E-06	1,32644	3,13E-06	1,36E-07
	Y1	1,06667778498570E+05	1,33E-06	1,32644	1,76E-06	7,66E-08
	Y2	1,06667774302178E+05	2,77E-07	1,32644	3,67E-07	1,60E-08
	Y3	1,06667772041643E+05	2,14E-07	1,32644	2,84E-07	1,24E-08
	Y4	1,06667769840903E+05	2,57E-07	1,32644	3,40E-07	1,48E-08
	Y5	1,06667768878777E+05	1,74E-07	1,32644	2,31E-07	1,01E-08
	Y6	1,06667768180215E+05	1,07E-07	1,32644	1,42E-07	6,16E-09

Tabel D.2 Hasil Perhitungan pada Jaringan Pipa *Existing Branch* I hingga *Branch XIII*.

(i,j)	P	Q	ρ	\dot{m}	\dot{n}
D2	1,06668699645684E+05	2,39E-06	1,32645	3,17E-06	1,38E-07
I	I	1,06668699192239E+05	4,48E-07	1,32645	5,94E-07
	I1	1,06668693551055E+05	9,21E-08	1,32645	1,22E-07
	I2	1,06668693410154E+05	3,76E-08	1,32645	4,99E-08
	I3	1,06668694187873E+05	2,67E-08	1,32645	3,54E-08
II		1,06668696018032E+05	4,11E-07	1,32645	5,45E-07
	II1	1,06668691576938E+05	9,87E-08	1,32645	1,31E-07
	II2	1,06668690534125E+05	1,76E-07	1,32645	2,33E-07
	II3	1,06668690209982E+05	1,36E-07	1,32645	1,81E-07
III		1,06668692622165E+05	1,76E-07	1,32645	2,33E-07
	III1	1,06668690623632E+05	1,34E-07	1,32645	1,77E-07
	III2	1,06668690307802E+05	1,02E-08	1,32645	1,35E-08
	III3	1,06668690170540E+05	1,40E-08	1,32645	1,86E-08
	III4	1,06668690051322E+05	4,35E-09	1,32645	5,77E-09
	III5	1,06668689986292E+05	4,56E-09	1,32645	6,05E-09
	III6	1,06668689999578E+05	5,50E-09	1,32645	7,30E-09
	III7	1,06668689971014E+05	2,89E-10	1,32645	3,83E-10
	III8	1,06668689999578E+05	5,50E-09	1,32645	7,30E-09
	III9	1,06668689991159E+05	2,25E-09	1,32645	2,98E-09
IV		1,06668691918289E+05	1,14E-07	1,32645	1,52E-07
	IV1	1,06668690683395E+05	2,75E-08	1,32645	3,64E-08
	IV2	1,06668690354208E+05	3,72E-08	1,32645	4,93E-08
	IV3	1,06668690269396E+05	1,18E-08	1,32645	1,56E-08
	IV4	1,06668690527879E+05	3,90E-09	1,32645	5,17E-09
	IV5	1,06668690520809E+05	9,37E-09	1,32645	1,24E-08
	IV6	1,06668690497066E+05	2,25E-09	1,32645	2,98E-09
	IV7	1,06668690498907E+05	5,05E-10	1,32645	6,70E-10
	IV8	1,06668690496513E+05	1,03E-10	1,32645	1,37E-10
	IV9	1,06668690496513E+05	1,03E-10	1,32645	1,37E-10
V		1,06668691594234E+05	1,43E-07	1,32645	1,90E-07
	V1	1,06668689970802E+05	1,09E-07	1,32645	1,44E-07
	V2	1,06668689698087E+05	3,93E-09	1,32645	5,21E-09
	V3	1,06668689611198E+05	1,71E-08	1,32645	2,27E-08
	V4	1,06668689530360E+05	7,78E-09	1,32645	1,03E-08

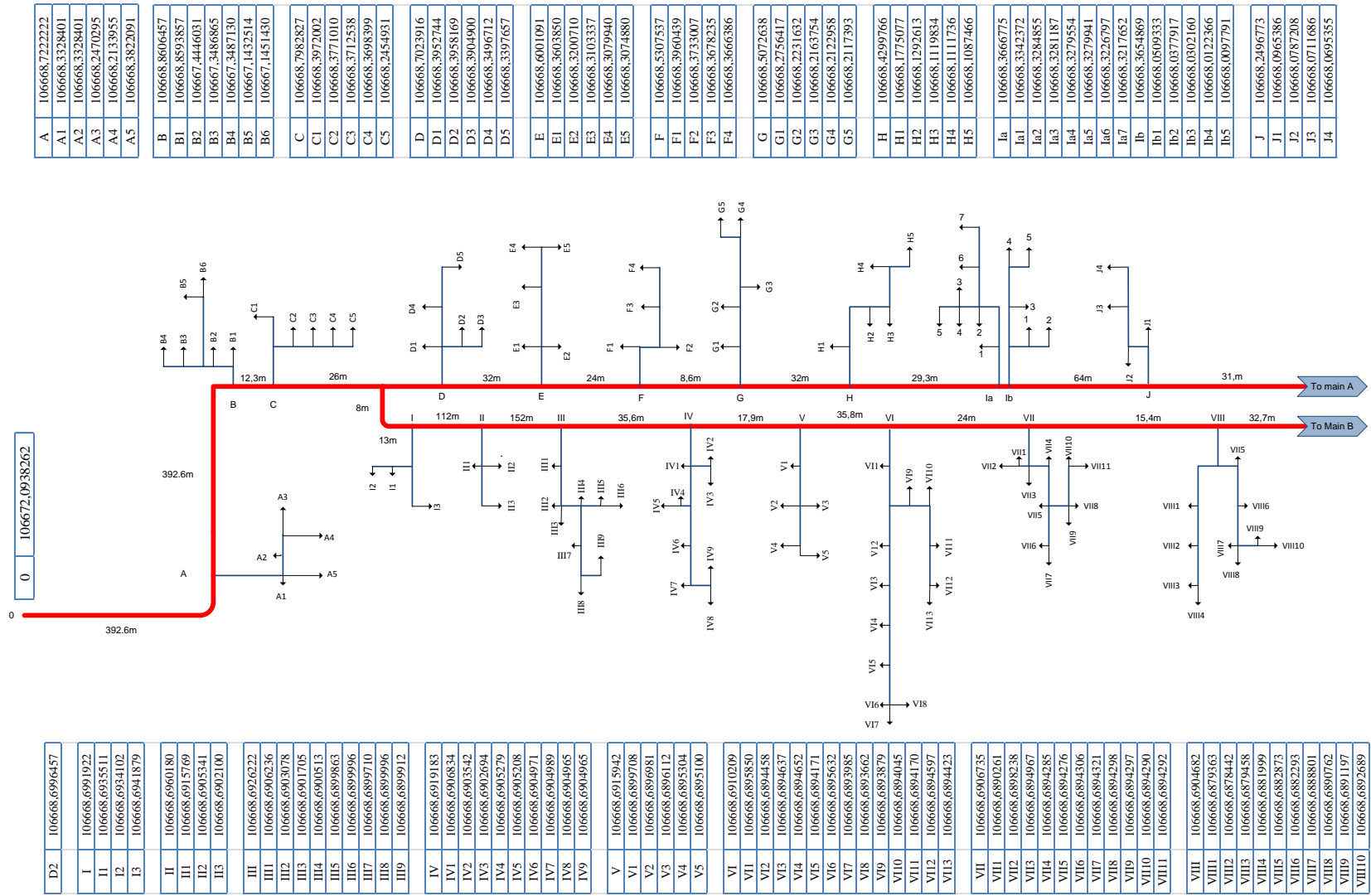
Tabel D.2 Terusan.

(i,j)	P	Q	ρ	\dot{m}	\dot{n}
V5	1,06668689509959E+05	5,50E-09	1,32645	7,30E-09	3,17E-10
VI	1,06668691020863E+05	1,06E-07	1,32645	1,40E-07	6,10E-09
VII	1,06668689585006E+05	5,05E-08	1,32645	6,70E-08	2,91E-09
VI2	1,06668689445768E+05	2,89E-08	1,32645	3,83E-08	1,67E-09
VI3	1,06668689463700E+05	8,38E-09	1,32645	1,11E-08	4,83E-10
VI4	1,06668689465194E+05	6,34E-09	1,32645	8,42E-09	3,66E-10
VI5	1,06668689417129E+05	3,41E-09	1,32645	4,52E-09	1,97E-10
VI6	1,06668689563215E+05	1,08E-08	1,32645	1,43E-08	6,22E-10
VI7	1,06668689398495E+05	4,26E-09	1,32645	5,66E-09	2,46E-10
VI8	1,06668689366193E+05	2,29E-09	1,32645	3,04E-09	1,32E-10
VI9	1,06668689387944E+05	1,74E-09	1,32645	2,31E-09	1,00E-10
VII0	1,06668689404470E+05	1,32E-09	1,32645	1,75E-09	7,62E-11
VII1	1,06668689417025E+05	1,00E-09	1,32645	1,33E-09	5,79E-11
VII2	1,06668689459744E+05	2,81E-09	1,32645	3,73E-09	1,62E-10
VII3	1,06668689442269E+05	3,63E-10	1,32645	4,82E-10	2,09E-11
VII	1,06668690673541E+05	7,81E-08	1,32645	1,04E-07	4,50E-09
VII1	1,06668689026069E+05	1,88E-08	1,32645	2,49E-08	1,08E-09
VII2	1,06668689823753E+05	5,25E-08	1,32645	6,97E-08	3,03E-09
VII3	1,06668689496735E+05	6,17E-09	1,32645	8,18E-09	3,56E-10
VII4	1,06668689428497E+05	1,79E-10	1,32645	2,37E-10	1,03E-11
VII5	1,06668689427592E+05	1,05E-10	1,32645	1,40E-10	6,07E-12
VII6	1,06668689430644E+05	3,49E-11	1,32645	4,63E-11	2,01E-12
VII7	1,06668689432139E+05	1,10E-10	1,32645	1,46E-10	6,36E-12
VII8	1,06668689429771E+05	1,29E-10	1,32645	1,72E-10	7,47E-12
VII9	1,06668689429652E+05	4,09E-11	1,32645	5,43E-11	2,36E-12
VII10	1,06668689429041E+05	4,09E-12	1,32645	5,43E-12	2,36E-13
VII11	1,06668689429216E+05	1,29E-11	1,32645	1,72E-11	7,47E-13
VIII	1,06668690468226E+05	1,01E-07	1,32645	1,34E-07	5,83E-09
VIII1	1,06668687936269E+05	1,82E-08	1,32645	2,41E-08	1,05E-09
VIII2	1,06668687844191E+05	1,07E-08	1,32645	1,42E-08	6,17E-10
VIII3	1,06668687945836E+05	8,13E-09	1,32645	1,08E-08	4,69E-10
VIII4	1,06668688199943E+05	4,20E-09	1,32645	5,57E-09	2,42E-10
VIII5	1,06668688287251E+05	1,03E-08	1,32645	1,36E-08	5,93E-10
VIII6	1,06668688229253E+05	1,12E-08	1,32645	1,49E-08	6,47E-10
VIII7	1,06668688880135E+05	4,77E-09	1,32645	6,32E-09	2,75E-10

Tabel D.2 Terusan.

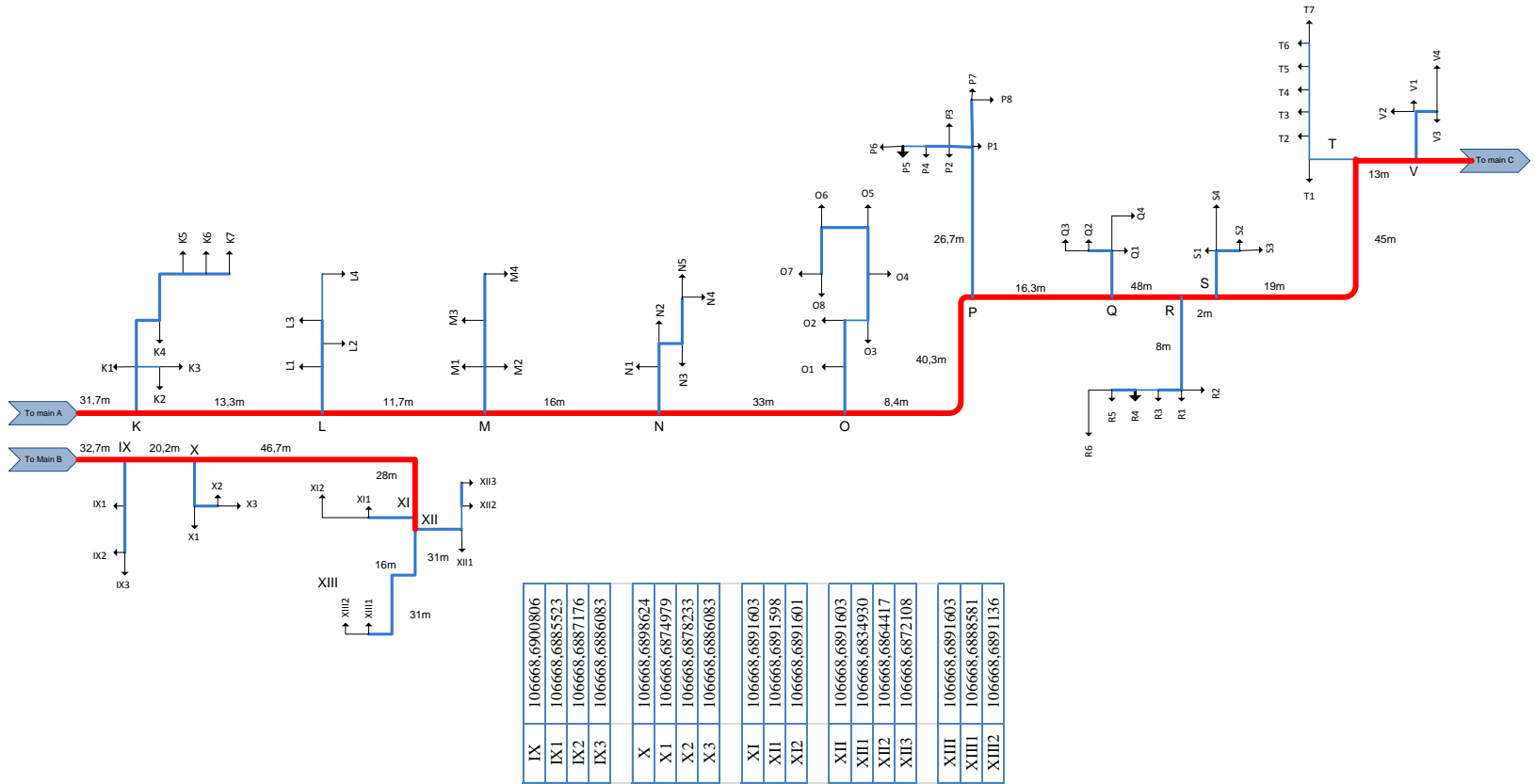
(i,j)	P	Q	ρ	\dot{m}	\dot{n}
VIII8	1,06668689076243E+05	4,58E-09	1,32645	6,07E-09	2,64E-10
VIII9	1,06668689119734E+05	3,48E-09	1,32645	4,62E-09	2,01E-10
VIII10	1,06668689268876E+05	1,10E-08	1,32645	1,46E-08	6,35E-10
IX	1,06668690080558E+05	7,24E-08	1,32645	9,61E-08	4,18E-09
IX1	1,06668688552334E+05	1,74E-08	1,32645	2,31E-08	1,00E-09
IX2	1,06668688717557E+05	1,32E-08	1,32645	1,75E-08	7,62E-10
IX3	1,06668688608348E+05	4,18E-08	1,32645	5,55E-08	2,41E-09
X	1,06668689862435E+05	9,58E-08	1,32645	1,27E-07	5,53E-09
X1	1,06668687497936E+05	1,57E-08	1,32645	2,08E-08	9,03E-10
X2	1,06668687823337E+05	3,84E-08	1,32645	5,09E-08	2,21E-09
X3	1,06668688608348E+05	4,18E-08	1,32645	5,55E-08	2,41E-09
XI	1,06668689160332E+05	4,05E-11	1,32645	5,37E-11	2,33E-12
XI1	1,06668689159819E+05	1,17E-11	1,32645	1,56E-11	6,77E-13
XI2	1,06668689160063E+05	2,87E-11	1,32645	3,81E-11	1,66E-12
XII	1,06668689160331E+05	4,91E-07	1,32645	6,51E-07	2,83E-08
XII1	1,06668683493039E+05	2,14E-07	1,32645	2,84E-07	1,24E-08
XII2	1,06668686441653E+05	1,01E-07	1,32645	1,34E-07	5,84E-09
XII3	1,06668687210777E+05	1,75E-07	1,32645	2,33E-07	1,01E-08
XIII	1,06668689160331E+05	1,53E-07	1,32645	2,03E-07	8,81E-09
XIII1	1,06668688858147E+05	4,43E-08	1,32645	5,87E-08	2,55E-09
XIII2	1,06668689113601E+05	1,08E-07	1,32645	1,44E-07	6,26E-09

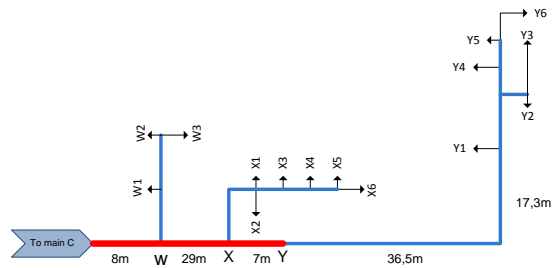
LAMPIRAN E
JARINGAN PIPA EXISTING



LAMPIRAN E
(TERUSAN)

K	106668.1985489
K1	106668.1049135
K2	106668.1094349
K3	106668.1049135
K4	106668.0907971
K5	106668.0839951
K6	106668.0819273
K7	106668.0814276
L	106668.1786413
L1	106668.0986173
L2	106668.0856338
L3	106668.0852922
L4	106668.0833084
M	106668.1623400
M1	106668.0799028
M2	106668.0605391
M3	106668.0523958
M4	106668.0459974
N	106668.1418570
N1	106668.0089771
N2	106667.9828206
N3	106667.9791165
N4	106667.9783156
N5	106667.9854263
O	106668.1043579
O1	106668.0518950
O2	106668.0430699
O3	106668.0416077
O4	106668.0409882
O5	106668.0408391
O6	106668.0407983
O7	106668.0407903
O8	106668.0407885
P	106668.0523194
P1	106667.8920079
P2	106667.8678862
P3	106667.8567387
P4	106667.8545649
P5	106667.8540396
P6	106667.8549182
P7	106667.8743383
P8	106667.8724918
Q	106667.9965757
Q1	106667.9451396
Q2	106667.9373889
Q3	106667.9318967
Q4	106667.9251812
R	106667.9965757
R1	106667.9368068
R2	106667.9330175
R3	106667.9319864
R4	106667.9305469
R5	106667.9301207
R6	106667.9298855
S	106667.9950813
S1	106667.9476028
S2	106667.9453014
S3	106667.9434906
S4	106667.9307101
T	106667.9518491
T1	106667.8639741
T2	106667.8489538
T3	106667.8445880
T4	106667.8433215
T5	106667.8429542
T6	106667.8428477
T7	106667.8428220
V	106667.9333613
V1	106667.9232058
V2	106667.922424
V3	106667.9231542
V4	106667.9229763



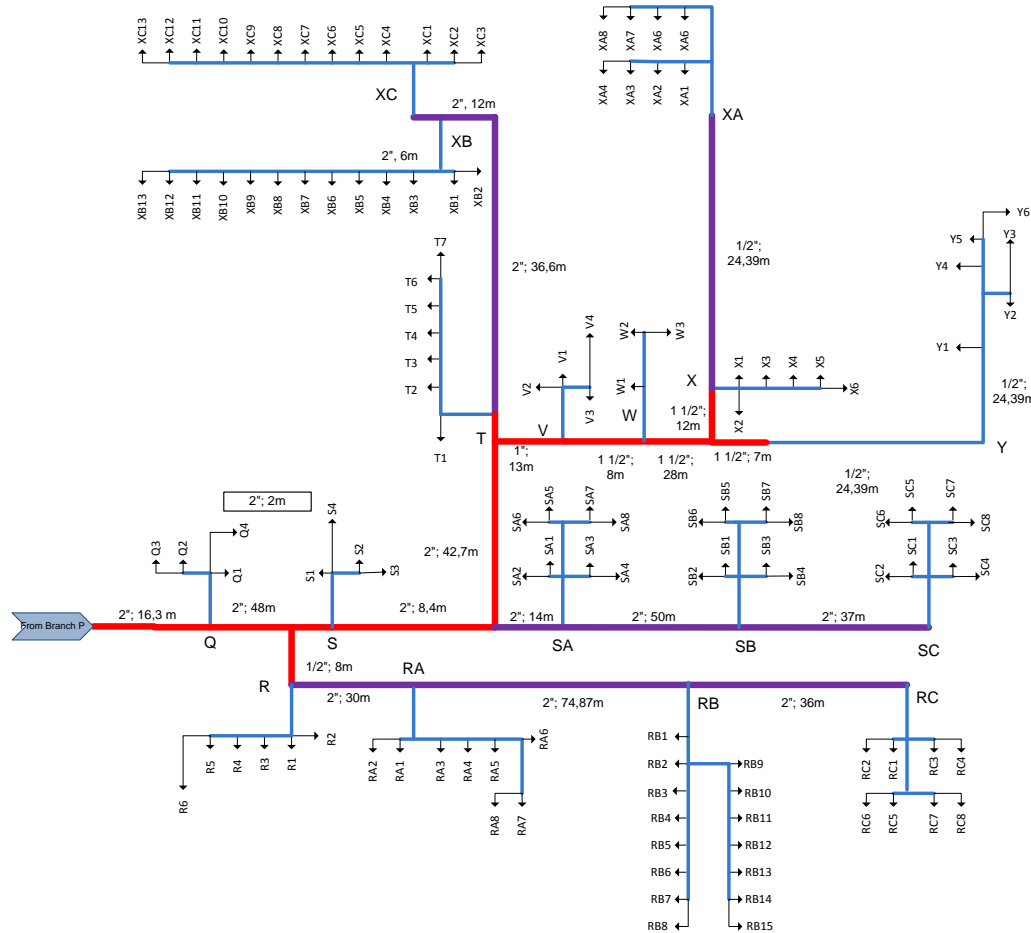


W	106667,9302919
W1	106667,9155109
W2	106667,9130208
W3	106667,9126812
X	106667,9218212
X1	106667,9084538
X2	106667,9077397
X3	106667,9059586
X4	106667,9054422
X5	106667,9052924
X6	106667,9052562
Y	106667,9218212
Y1	106667,7784986
Y2	106667,7743022
Y3	106667,7720416
Y4	106667,7698409
Y5	106667,7688788
Y6	106667,7681802

LAMPIRAN E (TERUSAN)

LAMPIRAN F JARINGAN PIPA *FUTURE* MODEL A

XA	106667,93325314
1	106667,927872067
2	106667,927215940
3	106667,926750022
4	106667,926460318
5	106667,927280869
6	106667,926873936
7	106667,926584972
8	106667,926405296
XB	106667,969576295
1	106667,968696147
2	106667,968325523
3	106667,968080269
4	106667,967657008
5	106667,967356450
6	106667,967143023
7	106667,966991467
8	106667,966883848
9	106667,966807427
10	106667,966753160
11	106667,966714625
12	106667,966687262
13	106667,966670247
XC	106667,969576295
1	106667,969426561
2	106667,969087200
3	106667,968876188
4	106667,969008090
5	106667,968668729
6	106667,968427749
7	106667,968256628
8	106667,968135115
9	106667,968048828
10	106667,967987555
11	106667,967944046
12	106667,967913149
13	106667,967893938



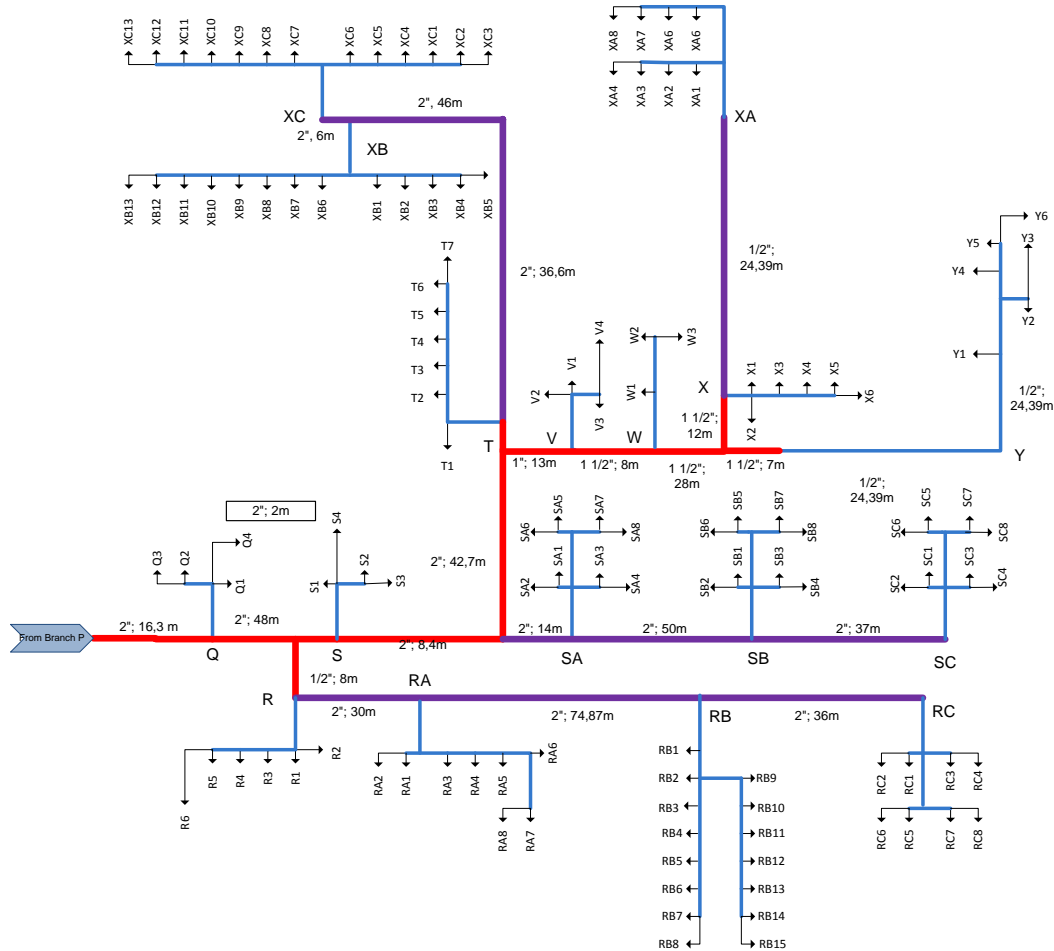
SA	106667,979205596
1	106667,957030081
2	106667,957308378
3	106667,957625339
4	106667,957681844
5	106667,957327633
6	106667,957285373
7	106667,957278228
8	106667,957242503
SB	106667,977761820
1	106667,975167806
2	106667,975200353
3	106667,975237436
4	106667,975244047
5	106667,975202605
6	106667,975197661
7	106667,975196825
8	106667,975192645
SC	106667,977761820
1	106667,971153979
2	106667,971186525
3	106667,971223608
4	106667,971230219
5	106667,971188778
6	106667,971183833
7	106667,971182997
8	106667,971178818

RA	106667,988125179
1	106667,987045194
2	106667,986508299
3	106667,986289114
4	106667,985675968
5	106667,985240572
6	106667,984928709
7	106667,984529267
8	106667,984383210
RB	106667,988040531
1	106667,987938965
2	106667,987922538
3	106667,987920085
4	106667,987919374
5	106667,987919168
6	106667,987919108
7	106667,987919091
8	106667,987919087
9	106667,987921843
10	106667,987921619
11	106667,987921554
12	106667,987921535
13	106667,987921530
14	106667,987921528
15	106667,987921528
RC	106667,988040531
1	106667,988032160
2	106667,988027518
3	106667,988018309
4	106667,988015693
5	106667,988014264
6	106667,988012470
7	106667,988014166
8	106667,988013935

LAMPIRAN G

JARINGAN PIPA *FUTURE* MODEL B1

XA		106667,933253314
	1	106667,928224954
	2	106667,927782068
	3	106667,927467574
	4	106667,927272024
	5	106667,927825899
	6	106667,927551219
	7	106667,927356168
	8	106667,927234887
XB		106667,968837500
	1	106667,967775001
	2	106667,967613708
	3	106667,967499174
	4	106667,967417843
	5	106667,967367272
	6	106667,967775001
	7	106667,967613708
	8	106667,967499174
	9	106667,967417843
	10	106667,967360090
	11	106667,967319079
	12	106667,967289957
	13	106667,967271849
XC		106667,968837500
	1	106667,968734281
	2	106667,968505213
	3	106667,968342551
	4	106667,968227045
	5	106667,968145023
	6	106667,968094023
	7	106667,968451669
	8	106667,968222744
	9	106667,968060082
	10	106667,967944576
	11	106667,967862554
	12	106667,967804311
	13	106667,967768095



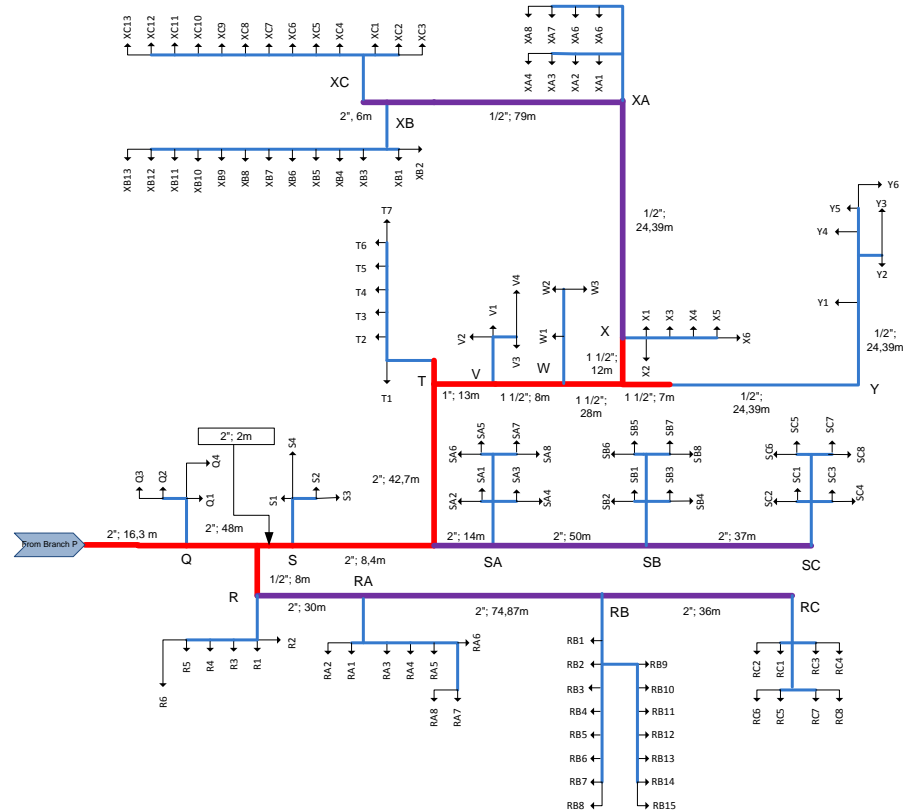
SA		106667,979205596
	1	106667,957030081
	2	106667,957308378
	3	106667,957625339
	4	106667,957681844
	5	106667,957327633
	6	106667,957285373
	7	106667,957278228
	8	106667,957242503
SB		106667,977761820
	1	106667,975167806
	2	106667,975200353
	3	106667,975237436
	4	106667,975244047
	5	106667,975202605
	6	106667,975197661
	7	106667,975196825
	8	106667,975192645
SC		106667,977761820
	1	106667,971153979
	2	106667,971186525
	3	106667,971223608
	4	106667,971230219
	5	106667,971188778
	6	106667,971183833
	7	106667,971182997
	8	106667,971178818

RA		106667,988125179
	1	106667,987045194
	2	106667,986508299
	3	106667,986289114
	4	106667,985675968
	5	106667,985240572
	6	106667,984928709
	7	106667,984529267
	8	106667,984383210
RB		106667,988040531
	1	106667,987938965
	2	106667,987922538
	3	106667,987920085
	4	106667,987919374
	5	106667,987919168
	6	106667,987919108
	7	106667,987919091
	8	106667,987919087
	9	106667,987921843
	10	106667,987921619
	11	106667,987921554
	12	106667,987921535
	13	106667,987921530
	14	106667,987921528
	15	106667,987921528
RC		106667,988040531
	1	106667,988032160
	2	106667,988027518
	3	106667,988018309
	4	106667,988015693
	5	106667,988014264
	6	106667,988012470
	7	106667,988014166
	8	106667,988013935

LAMPIRAN H

JARINGAN PIPA *FUTURE* MODEL A2

XA		106667,933181942
	1	106667,932970787
	2	106667,932933291
	3	106667,932906665
	4	106667,932890109
	5	106667,932937001
	6	106667,932913746
	7	106667,932897232
	8	106667,932886964
XB		106667,933104476
	1	106667,933084546
	2	106667,933078699
	3	106667,933074829
	4	106667,933068151
	5	106667,933063409
	6	106667,933060042
	7	106667,933057650
	8	106667,933055952
	9	106667,933054747
	10	106667,933053891
	11	106667,933053283
	12	106667,933052851
	13	106667,933052582
XC		106667,933104476
	1	106667,933101475
	2	106667,933096121
	3	106667,933092791
	4	106667,933094872
	5	106667,933089518
	6	106667,933085716
	7	106667,933083016
	8	106667,933081099
	9	106667,933079738
	10	106667,933078771
	11	106667,933078084
	12	106667,933077597
	13	106667,933077294

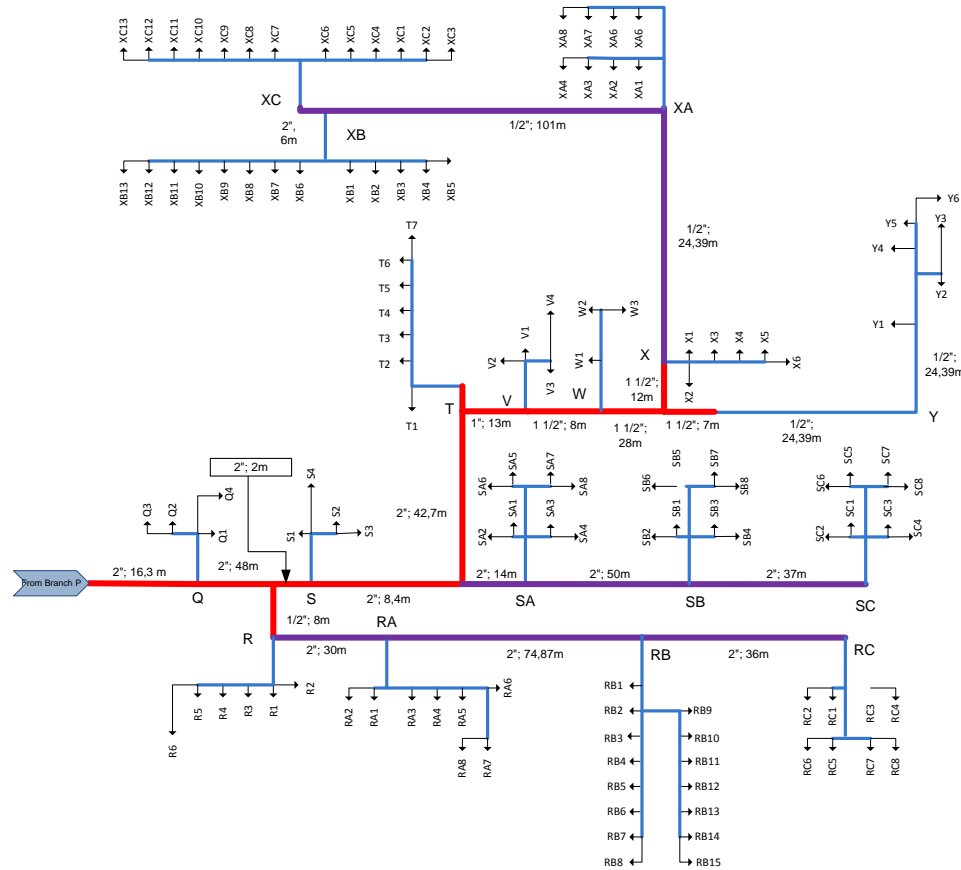


SA		106667,979205596
	1	106667,957030081
	2	106667,957308378
	3	106667,957625339
	4	106667,957681844
	5	106667,957327633
	6	106667,957285373
	7	106667,957278228
	8	106667,957242503
SB		106667,977761820
	1	106667,975167806
	2	106667,975200353
	3	106667,975237436
	4	106667,975244047
	5	106667,975202605
	6	106667,975197661
	7	106667,975196825
	8	106667,975192645
SC		106667,977761820
	1	106667,971153979
	2	106667,971186525
	3	106667,971223608
	4	106667,971230219
	5	106667,971188778
	6	106667,971183833
	7	106667,971182997
	8	106667,971178818

RA		106667,988125179
	1	106667,987045194
	2	106667,986508299
	3	106667,986289114
	4	106667,985675968
	5	106667,985240572
	6	106667,984928709
	7	106667,984529267
	8	106667,984383210
RB		106667,988040531
	1	106667,987938965
	2	106667,987922538
	3	106667,987920085
	4	106667,987919374
	5	106667,987919168
	6	106667,987919108
	7	106667,987919091
	8	106667,987919087
	9	106667,987921843
	10	106667,987921619
	11	106667,987921554
	12	106667,987921535
	13	106667,987921530
	14	106667,987921528
	15	106667,987921528
RC		106667,988040531
	1	106667,988032160
	2	106667,988027518
	3	106667,988018309
	4	106667,988015693
	5	106667,988014264
	6	106667,988012470
	7	106667,988014166
	8	106667,988013935

LAMPIRAN I JARINGAN PIPA *FUTURE* MODEL B2

XA	106667,933181942
1	106667,932952408
2	106667,932911648
3	106667,932882705
4	106667,932864708
5	106667,932915681
6	106667,932890402
7	106667,932872451
8	106667,932861289
XB	106667,933072903
1	106667,933045906
2	106667,933041808
3	106667,933038898
4	106667,933036832
5	106667,933035547
6	106667,933045906
7	106667,933041808
8	106667,933038898
9	106667,933036832
10	106667,933035364
11	106667,933034322
12	106667,933033582
13	106667,933033122
XC	106667,933072903
1	106667,933069640
2	106667,933063820
3	106667,933059687
4	106667,933056752
5	106667,933054668
6	106667,933053372
7	106667,933062463
8	106667,933056643
9	106667,933052510
10	106667,933049575
11	106667,933047491
12	106667,933046011
13	106667,933045091



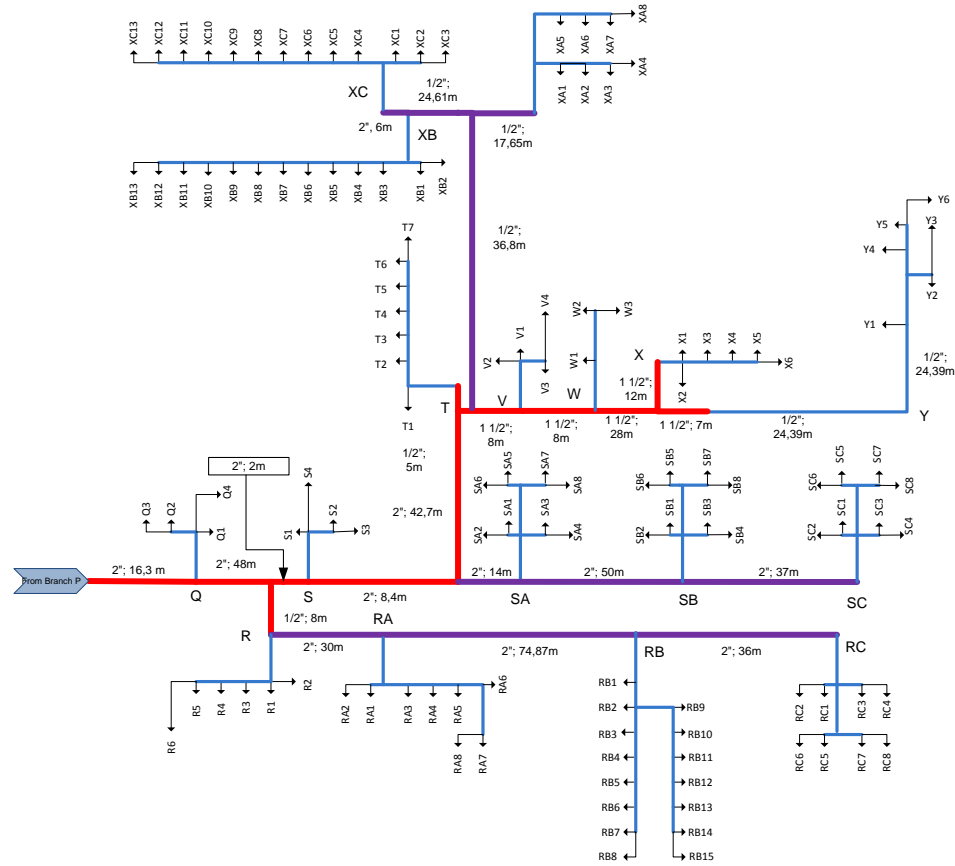
SA	106667,979205596
1	106667,957030081
2	106667,957308378
3	106667,957625339
4	106667,957681844
5	106667,957327633
6	106667,957285373
7	106667,957278228
8	106667,957242503
SB	106667,977761820
1	106667,975167806
2	106667,975200353
3	106667,975237436
4	106667,975244047
5	106667,975202605
6	106667,975197661
7	106667,975196825
8	106667,975192645
SC	106667,977761820
1	106667,971153979
2	106667,971186525
3	106667,971223608
4	106667,971230219
5	106667,971188778
6	106667,971183833
7	106667,971182997
8	106667,971178818

RA	106667,988125179
1	106667,987045194
2	106667,986508299
3	106667,986289114
4	106667,985675968
5	106667,985240572
6	106667,984928709
7	106667,984529267
8	106667,984383210
RB	106667,988040531
1	106667,987938965
2	106667,987922538
3	106667,987920085
4	106667,987919374
5	106667,987919168
6	106667,987919108
7	106667,987919091
8	106667,987919087
9	106667,987921843
10	106667,987921619
11	106667,987921554
12	106667,987921535
13	106667,987921530
14	106667,987921528
15	106667,987921528
RC	106667,988040531
1	106667,988032160
2	106667,988027518
3	106667,988018309
4	106667,988015693
5	106667,988014264
6	106667,988012470
7	106667,988014166
8	106667,988013935

LAMPIRAN J

JARINGAN PIPA *FUTURE* MODEL A3

XA		106667,922567656
	1	106667,906338733
	2	106667,903259490
	3	106667,901072911
	4	106667,899713341
	5	106667,903564692
	6	106667,901654931
	7	106667,900298804
	8	106667,899455584
XB		106667,913013724
	1	106667,910888639
	2	106667,909516931
	3	106667,908609239
	4	106667,907042682
	5	106667,905930266
	6	106667,905140337
	7	106667,904579407
	8	106667,904181089
	9	106667,903898242
	10	106667,903697392
	11	106667,903554768
	12	106667,903453491
	13	106667,903390517
XC		106667,913013724
	1	106667,911928905
	2	106667,910672877
	3	106667,909891897
	4	106667,910380116
	5	106667,909124088
	6	106667,908232180
	7	106667,907598834
	8	106667,907149093
	9	106667,906829731
	10	106667,906602952
	11	106667,906441915
	12	106667,906327563
	13	106667,906256459



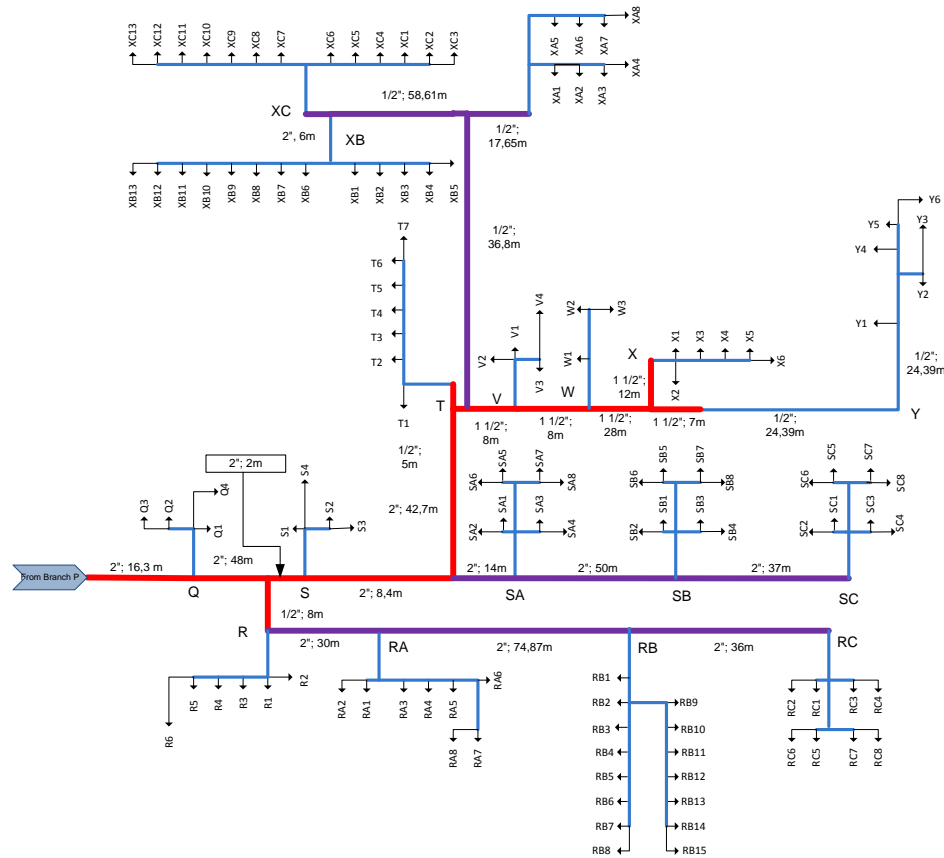
SA		106667,979205596
	1	106667,957030081
	2	106667,957308378
	3	106667,957625339
	4	106667,957681844
	5	106667,957327633
	6	106667,957285373
	7	106667,957278228
	8	106667,957242503
SB		106667,977761820
	1	106667,975167806
	2	106667,975200353
	3	106667,975237436
	4	106667,975244047
	5	106667,975202605
	6	106667,975197661
	7	106667,975196825
	8	106667,975192645
SC		106667,977761820
	1	106667,971153979
	2	106667,971186525
	3	106667,971223608
	4	106667,971230219
	5	106667,971188778
	6	106667,971183833
	7	106667,971182997
	8	106667,971178818

RA		106667,988125179
	1	106667,987045194
	2	106667,986508299
	3	106667,986289114
	4	106667,985675968
	5	106667,985240572
	6	106667,984928709
	7	106667,984529267
	8	106667,984383210
RB		106667,988040531
	1	106667,987938965
	2	106667,987922538
	3	106667,987920085
	4	106667,987919374
	5	106667,987919168
	6	106667,987919108
	7	106667,987919091
	8	106667,987919087
	9	106667,987921843
	10	106667,987921619
	11	106667,987921554
	12	106667,987921535
	13	106667,987921530
	14	106667,987921528
	15	106667,987921528
RC		106667,988040531
	1	106667,988032160
	2	106667,988027518
	3	106667,988018309
	4	106667,988015693
	5	106667,988014264
	6	106667,988012470
	7	106667,988014166
	8	106667,988013935

LAMPIRAN K

JARINGAN PIPA *FUTURE* MODEL B3

XA		106667,922567656
	1	106667,906338727
	2	106667,903259487
	3	106667,901072910
	4	106667,899713341
	5	106667,903564690
	6	106667,901654929
	7	106667,900298803
	8	106667,899455584
XB		106667,913013724
	1	106667,909738186
	2	106667,908853787
	3	106667,908225772
	4	106667,907779818
	5	106667,907502527
	6	106667,909738186
	7	106667,908853787
	8	106667,908225772
	9	106667,907779818
	10	106667,907463145
	11	106667,907238275
	12	106667,907078594
	13	106667,906979305
XC		106667,913013724
	1	106667,911928904
	2	106667,910672877
	3	106667,909780969
	4	106667,909147623
	5	106667,908697882
	6	106667,908418237
	7	106667,910380068
	8	106667,909124041
	9	106667,908232133
	10	106667,907598787
	11	106667,907149047
	12	106667,906829685
	13	106667,906631108

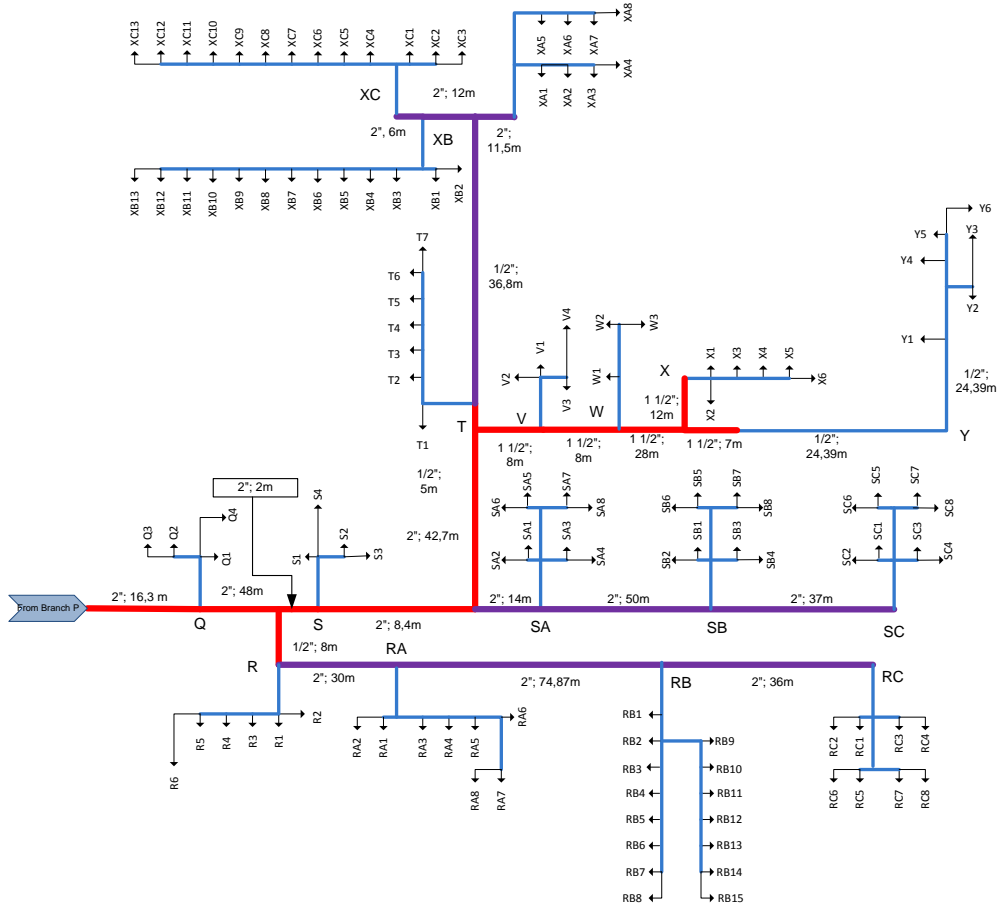


SA		106667,979205596
	1	106667,957030081
	2	106667,957308378
	3	106667,957625339
	4	106667,957681844
	5	106667,957327633
	6	106667,957285373
	7	106667,957278228
	8	106667,957242503
SB		106667,977761820
	1	106667,975167806
	2	106667,975200353
	3	106667,975237436
	4	106667,975244047
	5	106667,975202605
	6	106667,975197661
	7	106667,975196825
	8	106667,975192645
SC		106667,977761820
	1	106667,971153979
	2	106667,971186525
	3	106667,971223608
	4	106667,971230219
	5	106667,971188778
	6	106667,971183833
	7	106667,971182997
	8	106667,971178818

RA		106667,988125179
	1	106667,987045194
	2	106667,986508299
	3	106667,986289114
	4	106667,985675968
	5	106667,985240572
	6	106667,984928709
	7	106667,984529267
	8	106667,984383210
RB		106667,988040531
	1	106667,987938965
	2	106667,987922538
	3	106667,987920085
	4	106667,987919374
	5	106667,987919168
	6	106667,987919108
	7	106667,987919091
	8	106667,987919087
	9	106667,987921843
	10	106667,987921619
	11	106667,987921554
	12	106667,987921535
	13	106667,987921530
	14	106667,987921528
	15	106667,987921528
RC		106667,988040531
	1	106667,988032160
	2	106667,988027518
	3	106667,988018309
	4	106667,988015693
	5	106667,988014264
	6	106667,988012470
	7	106667,988014166
	8	106667,988013935

JARINGAN PIPA *FUTURE* MODEL A4

XA		106667,938059455
	1	106667,931477201
	2	106667,926444802
	3	106667,926444802
	4	106667,925145481
	5	106667,928825838
	6	106667,927000732
	7	106667,9255704721
	8	106667,924898873
XB		106667,932463767
	1	106667,930973378
	2	106667,929322262
	3	106667,928229681
	4	106667,926344018
	5	106667,925005004
	6	106667,924054167
	7	106667,923378975
	8	106667,922899519
	9	106667,922559057
	10	106667,922317294
	11	106667,922145618
	12	106667,922023710
	13	106667,921947909
XC		106667,932463767
	1	106667,927405020
	2	106667,916657341
	3	106667,909975245
	4	106667,914155018
	5	106667,903407339
	6	106667,895775353
	7	106667,890355845
	8	106667,886507432
	9	106667,883774661
	10	106667,880456124
	11	106667,879477611
	12	106667,879477611
13	106667,878869183	



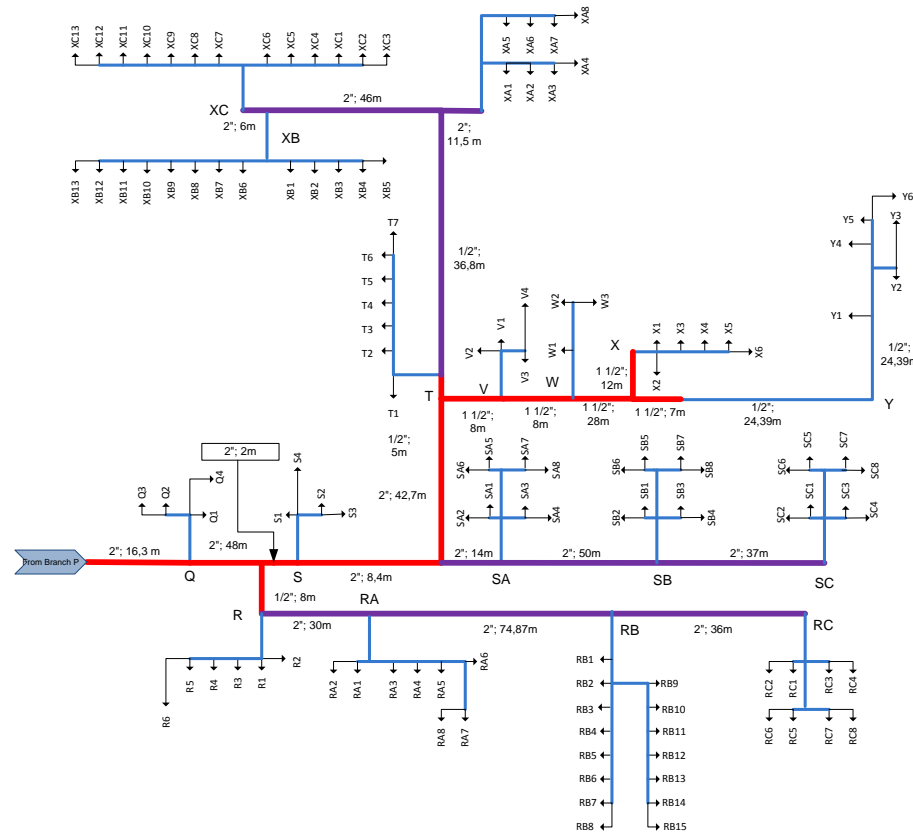
SA		106667,979205596
	1	106667,957030081
	2	106667,957308378
	3	106667,957625339
	4	106667,957681844
	5	106667,957327633
	6	106667,957285373
	7	106667,957278228
	8	106667,957242503
SB		106667,977761820
	1	106667,975167806
	2	106667,975200353
	3	106667,975237436
	4	106667,975244047
	5	106667,975202605
	6	106667,975197661
	7	106667,975196825
	8	106667,975192645
SC		106667,977761820
	1	106667,971153979
	2	106667,971186525
	3	106667,971223608
	4	106667,971230219
	5	106667,971188778
	6	106667,971183833
	7	106667,971182997
	8	106667,971178818

RA		106667,988125179
	1	106667,987045194
	2	106667,986508299
	3	106667,986289114
	4	106667,985675968
	5	106667,985240572
	6	106667,984928709
	7	106667,984529267
	8	106667,984383210
RB		106667,988040531
	1	106667,987938965
	2	106667,987922538
	3	106667,987920085
	4	106667,987919374
	5	106667,987919168
	6	106667,987919108
	7	106667,987919091
	8	106667,987919087
	9	106667,987921843
	10	106667,987921619
	11	106667,987921554
	12	106667,987921535
	13	106667,987921530
	14	106667,987921528
	15	106667,987921528
RC		106667,988040531
	1	106667,988032160
	2	106667,988027518
	3	106667,988018309
	4	106667,988015693
	5	106667,988014264
	6	106667,988012470
	7	106667,988014166
	8	106667,988013935

LAMPIRAN M

JARINGAN PIPA *FUTURE* MODEL B4

XA	106667,938059455
1	106667,933425153
2	106667,931659508
3	106667,930405718
4	106667,929626131
5	106667,931834427
6	106667,930739365
7	106667,929961759
8	106667,929478252
XB	106667,932463767
1	106667,929588613
2	106667,928524061
3	106667,927768121
4	106667,927231325
5	106667,926897551
6	106667,929588613
7	106667,928524061
8	106667,927768121
9	106667,927231325
10	106667,926850146
11	106667,926579469
12	106667,926387261
13	106667,926267748
XC	106667,932463767
1	106667,927405020
2	106667,916657341
3	106667,909025355
4	106667,903605847
5	106667,899757434
6	106667,897364608
7	106667,914151618
8	106667,903403939
9	106667,895771953
10	106667,890352445
11	106667,886504032
12	106667,883771261
13	106667,882072088



SA	106667,979205596
1	106667,957030081
2	106667,957308378
3	106667,957625339
4	106667,957681844
5	106667,957327633
6	106667,957285373
7	106667,957278228
8	106667,957242503
SB	106667,977761820
1	106667,975167806
2	106667,975200353
3	106667,975237436
4	106667,975244047
5	106667,975202605
6	106667,975197661
7	106667,975196825
8	106667,975192645
SC	106667,977761820
1	106667,971153979
2	106667,971186525
3	106667,971223608
4	106667,971230219
5	106667,971188778
6	106667,971183833
7	106667,971182997
8	106667,971178818

RA	106667,988125179
1	106667,987045194
2	106667,986508299
3	106667,986289114
4	106667,985675968
5	106667,985240572
6	106667,984928709
7	106667,984529267
8	106667,984383210
RB	106667,988040531
1	106667,987938965
2	106667,987922538
3	106667,987920085
4	106667,987919374
5	106667,987919168
6	106667,987919108
7	106667,987919091
8	106667,987919087
9	106667,987921843
10	106667,987921619
11	106667,987921554
12	106667,987921535
13	106667,987921530
14	106667,987921528
15	106667,987921528
RC	106667,988040531
1	106667,988032160
2	106667,988027518
3	106667,988018309
4	106667,988015693
5	106667,988014264
6	106667,988012470
7	106667,988014166
8	106667,988013935

BIOGRAFI PENULIS



Gigis Kintan Miyarthaluna-lahir di Sidoarjo, 23Mei 1993. Penulis merupakan anak kedua dari Imam dan Nurhasanah. Penulis memulai pendidikan di SDN Krembung II di Kecamatan Krembung Sidoarjo pada tahun 1999 hingga 2002. Penulis melanjutkan pendidikan di SDN Mojaruntut III di Kecamatan Krembung Sidoarjo pada tahun 2002 hingga 2005. Penulis melanjutkan pendidikan di SMPN

1 Porong dan lulus pada tahun 2008. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 3 Sidoarjo hingga lulus tahun 2011. Selepas lulus dari sekolah menengah atas, penulis melanjutkan pendidikan di Teknik Fisika ITS. Saat berstatus sebagai mahasiswa, penulis aktif dalam mengikuti seminar yang diadakan baik di dalam maupun di luar ITS dan luar ITS. Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Halliburton pada tahun 2014. Penulis dapat dihubungi melalui email gigis.kintan.m@gmail.com.